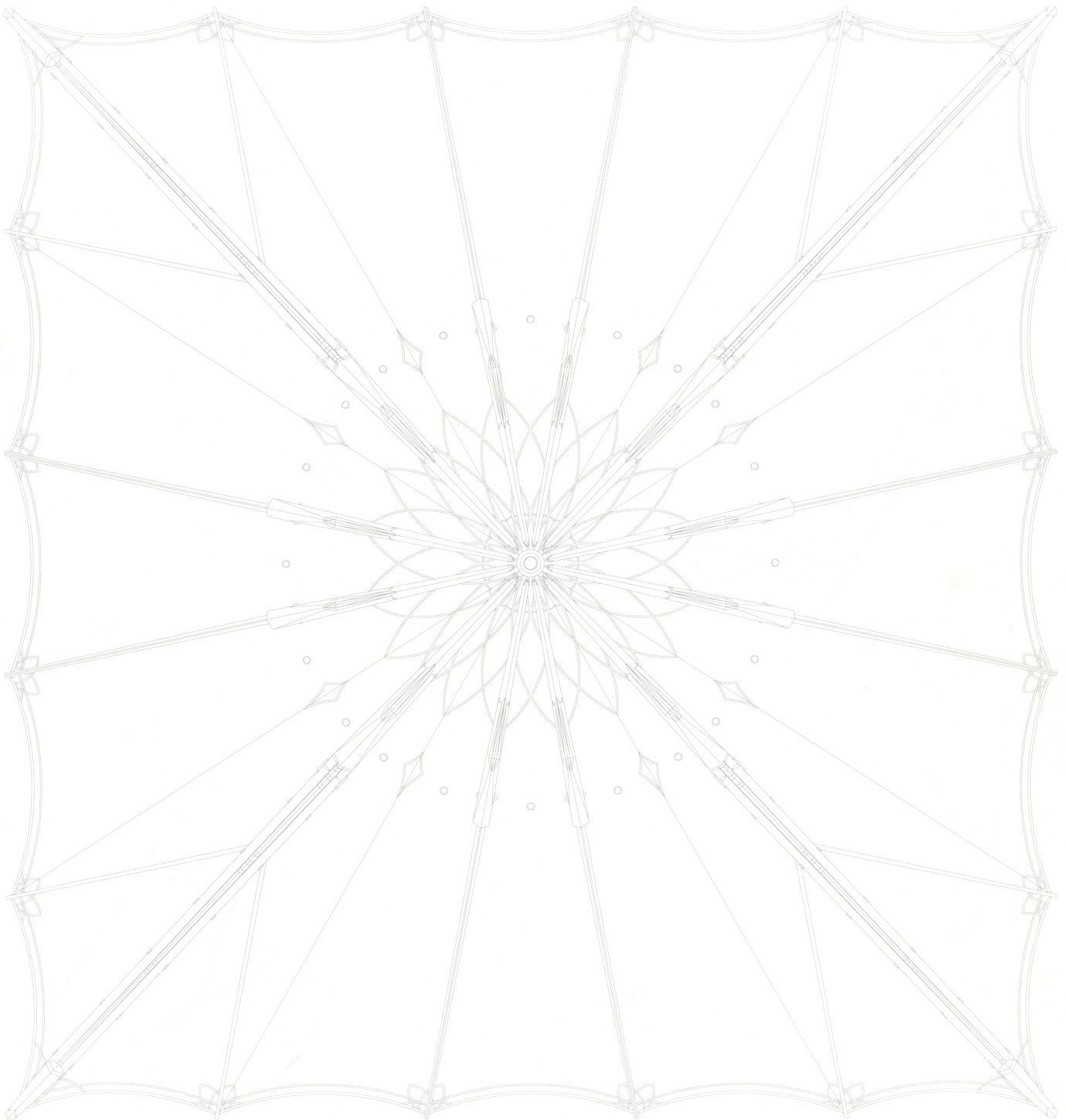


MODELO DE ANÁLISIS DE ESTUDIO DE VIENTO PARA ESTRUCTURAS TENSADAS

Diana Carolina Hernández Rubio
Dr. Ramón Sastre



1. Resumen
2. Introducción
3. Objetivo
4. Antecedentes
 - 4.1 Arquitectura textil
 - 4.2 Forma
 - 4.2.1 Paraboloide hiperbólico (hypar)
 - 4.3 Comportamiento estructural
 - 4.4 Ambiente interior
 - 4.5 Clasificaciones de cubiertas
 - 4.7 Casos de estudio
 - 4.8 CFD
 - 4.9 Túnel de viento
5. Normativa existente
6. Explicación de modelo rígido o flexible para maqueta
7. Diseño de maqueta
 - 7.1 Materiales utilizados
 - 7.2 Descripción de maqueta
8. Estructura del equipo de medición propuesto
 - 8.1 Componentes
9. Descripción del método
10. Preparación de sensores
 - 10.1 Forma y materiales
 - 10.2 Calibración y configuración de medición empleadas
11. Montaje y experimento
 - 11.1 Preparaciones
 - 11.2 Pruebas
12. Resultados experimentales
13. Comparativa con Wintess
14. Conclusiones
15. Anexos
 - 15.1 Pruebas de calibración
 - 15.2 Generación de modelo Wintess
16. Índice de figuras
17. Referencias bibliográficas

Las estructuras tensadas han sido utilizadas desde hace mucho tiempo gracias a sus ventajas físicas. Estas nos brindan protección, sombra, ahorro económico, belleza visual, entre muchas otras ventajas. Así como también presentan desventajas y éstas son sensibles a las acciones dinámicas de factores naturales, como es el viento. Factor de mucho cuidado y consideración durante todas las etapas de dichos proyectos, desde el diseño hasta el mantenimiento posterior a su construcción. La comprensión de la acción del viento tanto en el interior como el exterior de un proyecto se ha convertido en un factor decisivo e importante en el diseño arquitectónico.

En este trabajo de investigación se presenta el desarrollo de un plan metodológico para el análisis del viento en dichas estructuras, específicamente el paraboloide hiperbólico, en el que la combinación de disciplinas tal como es la electrónica, la física y la arquitectura se relacionan directamente en este trabajo. El desarrollo de una metodología de estudio, que incluye desde la etapa 0 que es el desarrollo de un software, hardware, sensores y todos los elementos necesarios para la ejecución de las pruebas brinda la capacidad de compatibilizar conocimientos para un mismo fin, que es el analizar una estructura flexible bajo las acciones del viento.

Creemos que mediante el conocimiento empírico de un modelo a escala brinda al profesional muchas más posibilidades de mejora desde las primeras fases de un proyecto así como también la prevención ante situaciones que no se podrían observar en un proyecto sin ensayos previos. La apertura a posibilidades con los recursos disponibles para proporcionar más datos que nos lleven a una mejor solución y comprensión de proyectos de escala pequeño - mediano nos hace crecer como profesionales y nuestro campo de acción será mayor y con más innovación que proponer en nuestra profesión.

Abstract

Tensile structures have been used since long time ago thanks to its great physical and design benefits. These type of structure can give us the necessary protection, shade, economical savings, visual beauty, and many more positive aspects. Even though they can be very effective they can also have quite important disadvantages. The direct impact of the weather actions can be a strong limitation on the use of them, for example the wind. The necessity of direct analysis, study, and numerous concerns are present in every stage of a tensile project.

During the development of this investigation, the creation and analysis of a methodological plan of study of the wind will allow us a better understanding of the hyperbolic paraboloid and its behavior under wind circumstances. This plan is conceived from early stages leading real outcomes of the behavior of the structure to finally compare the efficiency of the Wintess program against the empirical test made.

We believe that with this empirical results of a flexible model can improve the accuracy of the design, project development, and hopefully in a near future the constructive methods. As well as the improvement of Wintess software to achieve it.

2

INTRODUCCIÓN

Las tenso estructuras son formas arquitectónicas a partir de membranas tensadas, resultando formas estilísticamente bellas. Dentro del campo arquitectónico suelen ser llamadas también “tenso fromas”, “membranas arquitectónicas”, “membranas textiles tensostáticas”, “envolturas textiles”, etc. En los últimos años las estructuras ligeras se han desarrollado y utilizado cada vez más, tanto por su belleza estética como por sus características positivas. Desde diferentes enfoques, tanto social y cultural como económico y sustentable este tipo de estructuras presentan beneficios y ventajas en comparación con edificios y estructuras tradicionales.

Para lograr el desarrollo de un proyecto de este tipo, son necesarias las intervenciones y colaboraciones de diferentes grupos de profesionales, arquitectos, ingenieros, ingenieros de la construcción, etc. La diferencia de la ejecución entre una cubierta convencional y una tensada requiere diferentes métodos y análisis a seguir para lograr su correcto funcionamiento. El flujo de trabajo será siempre continuo ya que todos los aspectos tienen que estar en equilibrio, el arquitectónico como el estético y el estructural. Ya que la forma obtenida de la membrana no se puede “controlar” y lo menciono entre comillas ya que la única forma de hacerlo es por la determinación de sus parámetros condicionantes serán los que dicten el resultado. Ya que la forma no ha sido impuesta esta debe cumplir con los requerimientos estructurales para poder lograr el equilibrio y permitir el diseño de los detalles constructivos, producción y finalmente su ejecución.

En este momento en Europa existen diferentes documentos en los que se exponen temas informativos acerca del asesoramiento y recomendaciones técnicas sobre el uso de las superficies tensadas. Más sin embargo, estos documentos aun no son una norma bien establecida pero aún así ayudan a los fabricantes, arquitectos, ingenieros y demás personas que participan en la realización de estas estructuras a cumplir los requisitos de seguridad y confort necesarios.

En los últimos años este sector ha crecido considerablemente y aun se ven este tipo de estructuras como algo especial y hasta cierto punto desconocido su comportamiento. La carencia de información oficial y avalada por entidades reconocidas limita a los diseñadores a sentir la confianza de adentrarse en el uso de las superficies tensadas.

Existen diferentes asociaciones y grupos de investigación acerca de las superficies tensadas alrededor del mundo que pretenden brindar más información al público y con los que están involucrados directamente en el diseño, fabricación e instalación de estructuras superficiales tensadas. (Foster, 2004). Por ejemplo esta la Asociación de Estructuras de Membrana de Japón, Asociación Americana de Ingenieros de Caminos (ASCE), y Tensinet que es la asociación Europea. Este último publicó un libro en el que se da un primer paso hacia la creación de un Eurocódigo especial para superficies tensadas. El propósito principal es el de divulgar el conocimiento básico sobre este campo e intercambiar conocimientos multidisciplinarios para un mejor entendimiento y que lleve a una mejor ejecución de proyectos relacionados.

Para lograr el avance tecnológico y mayorar el uso de este tipo de superficies que como sabemos tienen muchas ventajas es necesario continuar con el estudio de temas en los que exista la carencia de información y ensayos. Priorizar temas como el comportamiento de los materiales usados, determinación de las propiedades térmicas y acústicas, mejora de los modelos de predicción de confort, determinación de las cargas del viento exactas sobre las estructuras, temas medioambientales, estudios de duración de materiales y su resistencia, entre otros. (Foster,2004).

3

OBJETIVO

Con la introducción previamente mencionada y sabiendo que existen lagunas y muchos temas por estudiar el presente trabajo pretende desarrollar un método de análisis de las reacciones causado por los efectos del viento aplicados en paraboloïdes hiperbólicos. La investigación y experimentación que se realiza con este trabajo mejora las aptitudes y creatividad en el campo de las pruebas para el diseño de dichas estructuras. Las herramientas y conocimientos que se adquieren al realizar estas pruebas abren un abanico de nuevas posibilidades ante diferentes estudios así como para la mejor comprensión de dichas estructuras estudiadas.

La necesidad de investigación acerca de estas estructuras nos ha llevado a contribuir y colaborar en la medida de lo posible con la comunidad de profesionales los conocimientos adquiridos durante la elaboración de este trabajo de fin de máster, esperando sea una motivación y continuación de estudio para futuras generaciones de profesionistas.

Asi mismo, éste trabajo tiene también como objetivo el instruir y preparar al alumno en el campo de la experimentación. La valoración del trabajo organizacional y de colaboración con varios ámbitos a parte de la arquitectura brindan al alumno una apertura al conocimiento y a futuras posibles pruebas a realizar en el campo laboral.

4

ANTECEDENTES

4.1 Arquitectura textil

La arquitectura textil comenzó con el uso de carpas para las instalaciones de circos. Estos utilizaban tejidos de tela que se pudieron crear para trasladarlas fácilmente, sustentadas por mástiles, este textil era hizado fácilmente y su perímetro atado al suelo con cuerdas. Aunque el uso de estas estructuras empezó en el siglo XIX el concepto de funcionalidad es el mismo que las estructuras actuales que ahora les llamamos membranas.

Posteriormente el uso de estas estructuras fue propuesto para diferentes usos tales como exposiciones, estadios, pabellones, entre otros. Arquitectos como Frei Otto, Robert Le Ricolais y el ingeniero Fred Serverud pioneros en la aplicación de conceptos tales como el uso de estas estructuras para lograr grandes luces diáfanas. La característica principal es conseguir la rigidez, estabilidad y el soporte de cargas por la forma de la superficie unida al peso propio.¹ El uso de mallas y cables pretensados establecieron los diferentes criterios de forma, diseño y cálculo de la arquitectura textil. Teniendo en cuenta que antes no se contaba con los beneficios de los programas de cálculos con los que contamos ahora.

En España se pudo ver el uso de este tipo de arquitectura con la Exposición Universal de Sevilla en 1992 (Tejera, 2002. pg. 6) abriendo oportunidades e iniciativas de diferentes arquitectos a utilizar la arquitectura textil. Posteriormente se pudieron apreciar este tipo de estructuras también en el Forum de Barcelona en 2004 y en la Expo Zaragoza 2008 difundiendo así el diseño de estructuras tensadas



Figura 1



Figura 2

Las estructuras de las figuras 13 y 14 actualmente no están más en Zaragoza debido a cambios de uso de los espacios de la Exposición.

En la actualidad la arquitectura textil se ofrece como una buena alternativa por eficiencia energética (protección solar, ahorro en iluminación, acabados de baja emisividad, membranas con células fotovoltaicas flexibles) y el uso de materiales cada vez más sofisticados, ecológicos y reciclables (Tejera, 2002. pg. 6).

En estos días la arquitectura textil desea llegar más allá, por tanto ha incursionado en la combinación de estrategias y métodos también nuevos para lograr mayor rigidez y estabilidad estructural. Tal es el caso del Tensegrity®, basado en la teoría del uso de mástiles flotantes comprimidos y estabilizados por cables traccionados consiguiendo luces mas grandes con menor peso por metro cuadrado.

El Tensairity® también forma parte de esta nueva corriente de estrategias utilizando membranas en el que consiste en el uso de estructuras presurizadas proporcionando la rigidez estructural en conjunto con algún otro elemento superior más rígido permitiendo la resistencia a la compresión. Este tipo de estructuras permite el diseño de puentes, pasarelas y cubiertas, con la gran ventaja de la ligereza de la propia estructura. Por otro lado el uso de las fachadas con elementos téxtiles también aparecen dentro de la variedad de estructuras tensadas. Utilizadas las membranas sobre bastidores metálicos en donde éstos son tensados y utilizados como planos en fachadas. La misma propiedad de ligereza beneficia el uso de ellas así como el resto de ventajas.

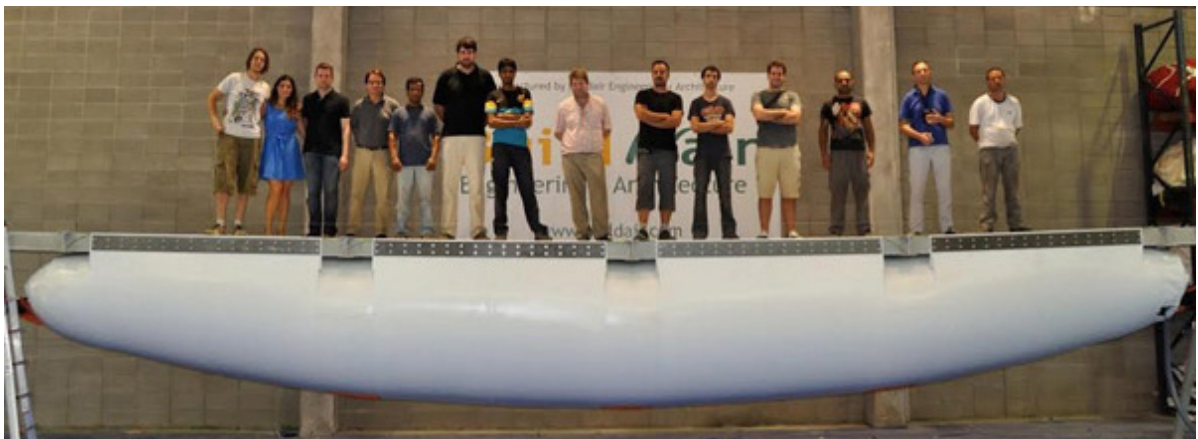


Figura 3

4.2 Forma

Para proyectar una estructura de este tipo es importante considerar la elección de la forma superficial, los niveles de pretensión, y la deformabilidad de la superficie. (Forster, 2004). La forma y el comportamiento físico de las estructuras textiles difieren mucho a las convencionales estructuras de tipo pórtico, rígidas y elástico lineales, que son utilizadas en la mayoría de los edificios (Forster, 2004).

La forma de estas superficies logra una doble curvatura que funciona muy bien a la tracción. El trabajo en dos direcciones de los tejidos hace ideal el tensado de la misma. Gracias a estos dos sentidos se puede definir la actuación de las cargas ejercidas sobre la superficie. Por un lado están las descendentes de la neve que se transmite por los hilos de la curvatura colgante y la succión hacia el exterior del viento se transmite por los hilos de la curvatura en arco (Forster, 2004).

En cuanto a la forma anticlástica podemos mencionar 4 tipos: el cono, la silla de montar, el paraboloide hiperbólico y espacios presurizados. Su geometría tiene elementos parecidos que es la doble curvatura que se forma pero en particular su forma es definida por los perimetros de ésta. La disposición de todos los elementos que están en contacto con la membrana y la soportan son la definicion de ésta (Forster, 2004. pg. 29). Para llegar a elegir la forma más conveniente el proceso resulta del "form finding" que consiste en probar diferentes iteraciones cambiando parametros de dimensiones, alturas, inclinaciones, etc. en cuanto a la disposición de los elementos para obtener una forma definida adecuada funcionalmente y agradable a la vista.

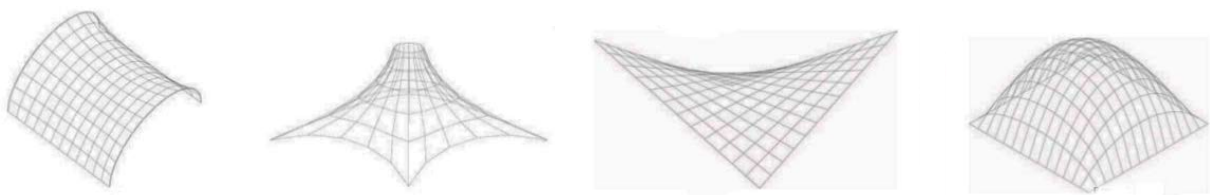


Figura 4

La composición de la forma dependen de los parámetros de los elementos de soporte y por las tensiones, en relación con el nivel del terreno, la disposición del perímetro que tiene que pasar por puntos elevados y bajos. Según Monjo, la composición a base de puntos elevado y bajos en la geometría tridimensional de una membrana influye mucho sobre su forma, y también en la concentración de esfuerzos que hay que transferir a los puntos de anclaje.

Se pueden hacer ensayos con películas de jabón logrando así la misma forma con sus debidos bordes y límites perimetrales los cuales asemejan a la realidad. La película se puede formar únicamente dentro del perímetro de un sistema cuya geometría permite que haya equilibrio de tensiones entre las moléculas de la película (Forster, 2004). Estos bordes y perímetros en la realidad son los cables de cumbreras, mástiles, arcos, etc.

El “form finding” resulta es el resultado de la elección de unas condiciones de borde determinadas . Aunque según Habery y Abel (1982) los esfuerzos no pueden ser representados en dichas estructuras pre diseñadas y pre dimensionadas y que en cambio presentan una forma de inequilibrio y problemática inicial en la búsqueda de la mejor forma de la superficie tensada.

La búsqueda de forma puede lograrse a través de manera geométrica mediante traslaciones del espacio o revoluciones de curvas, deformando puntual o linealmente. También se puede lograr la variación de formas mediante el uso de programas informáticos variando las cargas de acciones así como del pretensado de la membrana. Otros factores también pueden alterar la forma como son: Características del contorno, características del tejido, el pretensado antes mencionado, y la densidad de fuerzas de las barras (Tejera, 2004).

4.2.1 Paraboloide hiperbólico (hypar)

Para este trabajo se eligió la forma de paraboloide hiperbólico caracterizado por la alteración de una superficie de membrana en dos puntos altos y dos puntos bajos, no es la única forma que se puede obtener, la combinación de esta mismas condiciones en conjunto pueden crear formas más complejas.

Básicamente el paraboloide hiperbólico esta compuesto por dos parábolas, mediante el deslizamiento de una de ellas paralelamente en si misma, sobre la otra. A la primera parábola se le denomina generatriz porque es la que genera la superficie y a la segunda se le llama directriz ya que ésta dirige la operación .También se denomina silla de montar o paso de montaña, ya que en una dirección tiene las secciones en forma de parábola con los lados hacia arriba y, en cambio, en la sección perpendicular, las secciones son en forma de parábola con los lados hacia abajo. (Autor desconocido, link en referencias bibliográficas). Recordemos que la forma final es determinada por los bordes perimetrales elegidos, estos estan en contacto con los cables, mástiles , arcos, vigas, etc. Su característica principal es la deformidad, ya que ésto rige su estabilidad formal. Una de sus características importantes es que los hypars pueden ser contruidos con superficies rectas. El variar el angulo de una recta tanto en una curva como en la otra. Este método permite la construcción tradicional posible para lograr dichas formas.

El diseño del paraboloide hiperbólico con dos orientaciones de membrana, esta puede ser diagonal u ortogonal. Una membrana cuadrada actua en tensión diagonal entre sus puntos de alteración opuestos. Para los patrones ortogonales en la hypar esto significa que está actuando como cortante. Como el modulo de rigidez de las membranas es muy baja en un modelo de hypar al actuar ortogonalmente ésta tendrá altas deformaciones. En la figura 5 podemos observar la relación de flexión con respecto a la altura entre patrones diagonales y patrones ortogonales (B. Bridgens &M. Birchall).

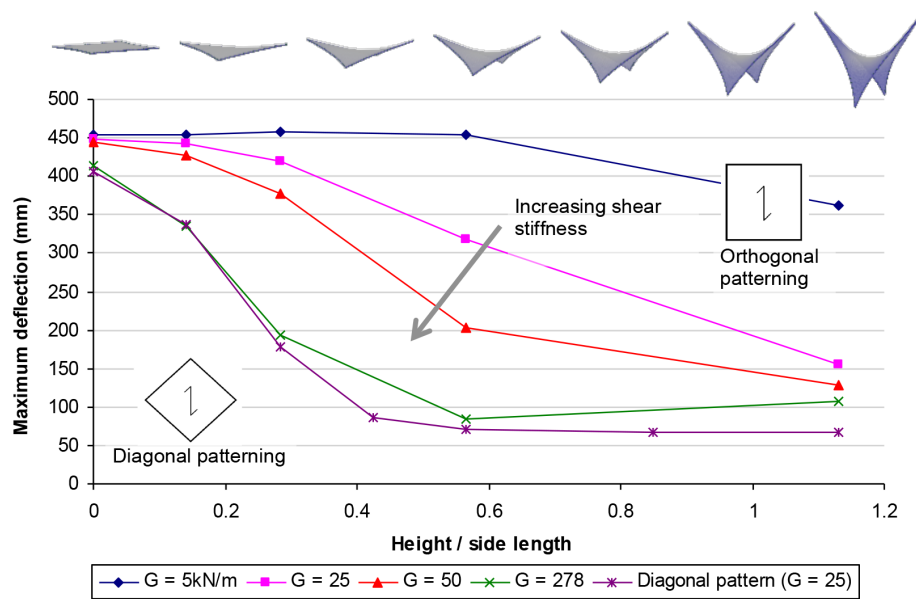
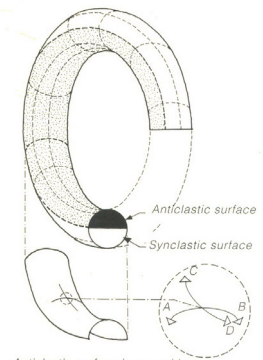


Figura 5

4.3 Comportamiento estructural de las estructuras de membrana anticlásticas.

Es posible estabilizar un elemento en el espacio usando esfuerzos de tensión con un mínimo de cuatro vectores de esfuerzos de tracción que no estén en un plano. Esto permite la configuración estable de las estructuras de superficie tensada. En las superficies anticlásticas la sumatoria de sus curvas, la positiva y la negativa es cero. Este principio es el que permite diseñar grandes luces con el mismo material y el que mantener en equilibrio mediante los elementos de soporte y suspensión.



Las superficies anticlásticas que funcionan a partir de cables pretensados, utilizan las fuerzas de contención del contorno para dar rigidez a la superficie. Si un cable es pretensado de ambos extremos y se le aplica una carga perpendicular, ya sea nieve, viento o agua, ésta requerirá de mucha fuerza en sus extremos para lograr su estabilidad.

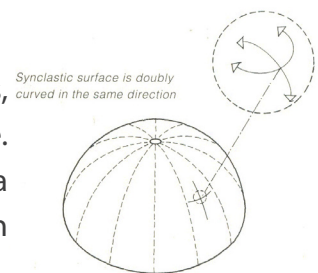


Figura 6

Si se cruzan dos cables formando una retícula es posible que la misma fuerza de pretensado sea necesaria para mantener el equilibrio, en cambio si un cable es posicionado por debajo del otro, creando un tejido, las fuerzas estarán en equilibrio ya que forman un conjunto de doble curvatura de sentido opuesto, de tal forma que al aplicar una carga hacia abajo en el nudo de ambos cables, el cable pretensado hacia arriba se tensa y el pretensado hacia abajo se destensa y a la inversa cuando la carga sea hacia arriba en el caso de la succión del viento. (Tejera 2004)

Según Tejera una cubierta tensostática se comporta de la misma manera que los cables, "la tensión en la superficie de una membrana es proporcional a su radio de curvatura, por tanto a mayor curvatura de cubierta, menor pretensado será necesario introducir en ella para estabilizarla."

La estructura anticlástica más básica es el paraboloide hiperbólico en donde sus cuatro esquinas definen su altura por tanto definen los bordes y formas de la estructura, son elementos sencillos definidos por pocos puntos de soporte. Es posible jugar con la repetición, acomodo y ritmos de éstas estructuras para formar composiciones más complejas y arquitectónicamente interesantes.

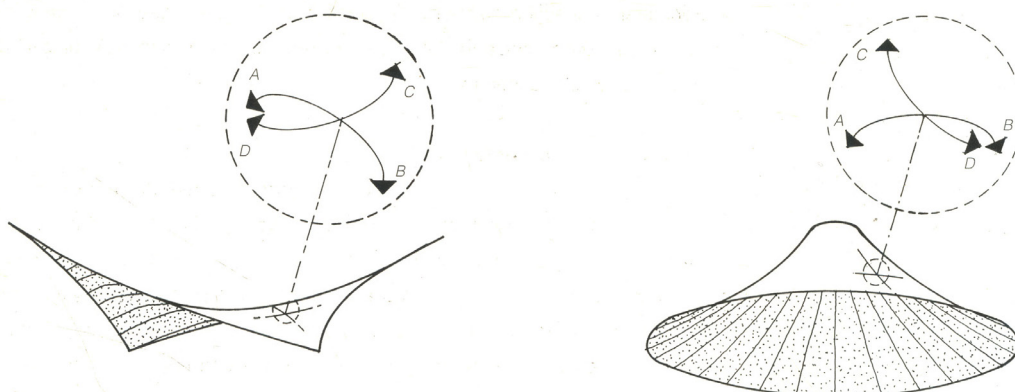


Figura 6.1

Este tipo de estructura es ideal para superficies de entre 15 y 20 metros pero para requerimientos de espacios mas grandes o con más altura en sus cargas puntuales podrían ser un inconveniente. En los casos en que se requiera estas mayores dimensiones son utilizados mástiles internos y la formación de crestas y valles en los que se soporta la estructura sin embargo compromete la forma clásica.

Es muy importante considerar entonces tanto en las cubiertas tensoestáticas (estructuras estabilizadas por tracción) como en las presostáticas (estructuras estabilizadas por presión de aire) , considerar el diseño y la obtención de forma, la relación con la curvatura, el pretensado y la estabilidad de la cubierta para poder calcular su análisis estático con cargas exteriores (Tejera, 2004 pg.11). El tipo de membrana utilizada también es de gran importancia ya que dependiendo del material que se elija será diferente su manera de calcularlo.

Al iniciar el análisis estático se deben tomar en cuenta las cargas de viento, de nieve y el pretensado. Las cargas propias de la cubierta pueden llegar a ser despreciadas ya que es una cubierta ligera, aunque es importante analizar detenidamente este factor. Una vez definido esto es posible comanzar a establecer las combinaciones de cargas pertinentes:

- Pretensado
- Pretensado + nieve
- Pretensado + viento en varias direcciones
- Pretensado + viento a compresión en varias direcciones + nieve

Teniendo éstos datos es difícil después la interpretación de datos y la comparación con las normativas existentes, tanto el CTE como los Eurocódigos. El tipo de estructuras estudiadas en este trabajo no estan descritas en este tipo de documentos. Las formas predeterminadas explicadas y formuladas dentro de estos documentos no tienen parecido o propiedades parecidas a éstas, es por eso que existe un vacío en cuanto a el seguimiento de normativas para el predimensionado, cálculo y ejecución de dichas estructuras.

En dichos documentos no se considera la acción dinámica del viento en dobles curvaturas, acción que produce una disipación de acciones-reacciones debido a la ligera deformación que se produce en la cubierta. (Tejera, 2004 pg. 11).

Definido el estado de cargas se puede conjuntar los anclajes, uniones, cables, estructura, membrana y cimentación para posteriormente dimensionar el patronaje de los tejidos. Como la dirección de los tejidos será en dos sentidos el comportamiento de la membrana sera anisótropo, es decir, que su comportamiento es no lineal debido a la doble curatura. La compensación necesaria que se le deberá aplicar al patronaje sera la que ayude a garantizar la tensión necesaria para el correcto equilibrio de la cubierta que previamente se había diseñado.

El equilibrio general de la estructura se logra a travez de los perímetros rígidos y los elementos de soporte sometidos a compresión. La carga sometida a la superficie es soportada gracias a su doble curvatura pretensada como antes se mencionó. El nivel de pre tensión depende del material y la geometría elegidos y esta expresada en un portcentaje de tensión ultimo, generalmente un 2.5% (UTS Ultimate Tensile Strength) para materiales de fibra de vidrio y un 1.3% para PVC. (Beccarelli, 2015).

Es posible que se registren zonas en la superficie donde los esfuerzos sean mayores, por tanto es necesario reforzar estas áreas con más capas de membrana para poder soportar estas diferencias de fuerzas. De esta forma se puede hacer mas eficiente el uso de la membrana y se evita el sobre uso de material.

4.4 Clasificación de cubiertas

Actualmente las cubiertas tensadas cumplen diferentes funciones dependiendo de las necesidades de los usuarios y el espacio a cubrir. La siguiente clasificación propuesta por Tensinet, desarrolla esquemáticamente tipos de cubiertas y sus características principales de acuerdo al uso. Estos esquemas y descripciones no condicionan ni limitan los tipos de estructuras que pueden ser diseñadas y logradas con estos métodos, sin embargo nos sirven para guiarnos y nos permite un mejor entendimiento de estas.

Cubiertas abiertas

Este tipo de cubiertas funcionan principalmente para la protección contra la lluvia y de la radiación solar. Mantiene una sensación de estar al aire libre ya que no tiene cerramientos verticales. La sencillez de la estructura a la vez que su translucidez del material y la aberturade la cubierta permite dicha sensación.

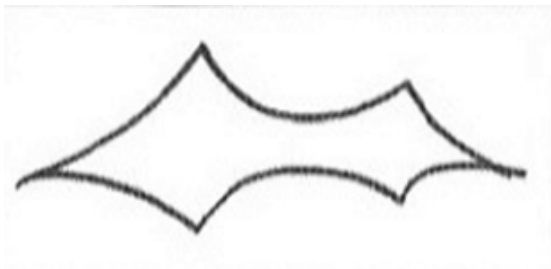


Figura 7



Figura 8

Interiores abiertas

Las mismas superficies tensadas pueden ser utilizadas tanto en exterior como en interior. El uso de estas en el interior es para proporcionar sombra en caso que el edificio sea acristalado y la incidencia solar sea intensa. Otra de las propiedades es que mejora la acústica del espacio combinando un revestimiento interior de piezas textiles sinclásticas o un sándwich de dos hojas con placas acústicas. (Forster, 2004. pg. 67).

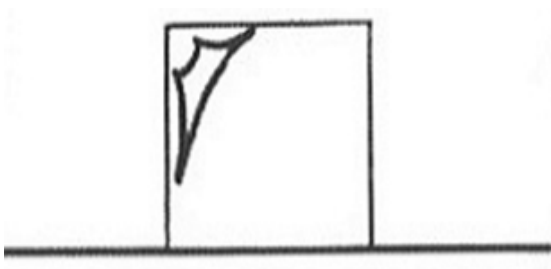


Figura 9

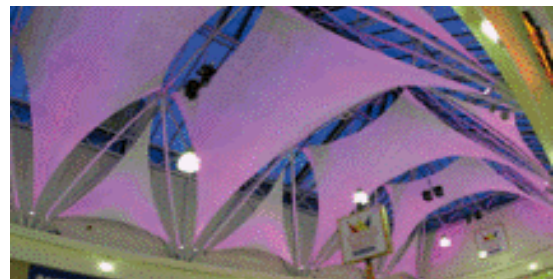


Figura 10

Adosadas abiertas

Estos cubiertas adosadas a edificios u otros elementos constructivos crean espacios semi publicos definidos y protegidos también. La combinación de ambos elementos mantiene conexión del espacio formando un “todo”. El uso de estas superficies brinda un espacio de transición entre el exterior e interior también protegiendo al usuario de la intemperie.

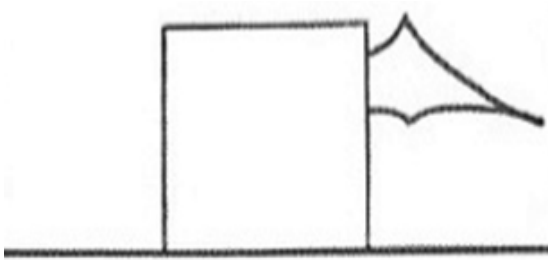


Figura 11

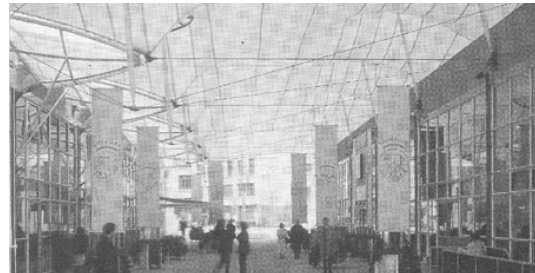


Figura 12

Cubiertas cerradas

Estas cubiertas mantienen bajo protección a los usuarios de los factores atmosféricos así como también de un clima interior con temperaturas menos extremas. El uso de varias capas de membrana pueden mejorar el comportamiento acústico y térmico de los espacios. Se deben considerar las características del uso del espacio para el correcto diseño de dicha cubierta. Estos criterios cambian significativamente la elección de los materiales, forma y detalles de conexión de la superficie.

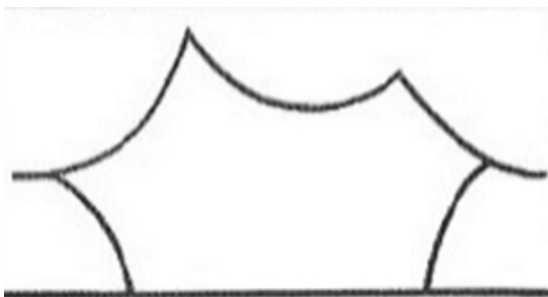


Figura 13



Figura 14

Cubierta interior cerrada

En casos los requerimientos térmicos y acústicos pueden llegar a ser insuficientes, el uso de una cubierta interior cerrada podría ser la solución a esto. Considero que también pueden utilizarse para cuestiones propiamente de estética y diseño del espacio.

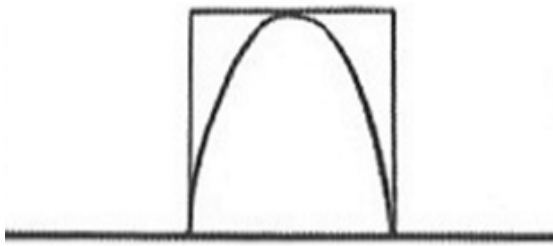


Figura 15



Figura 16

Cubiertas adosadas cerradas

Este tipo de cubiertas son utilizadas para proteger completamente de la intemperie alguna zona adyacente de algún edificio. Podría ser el caso de un patio interior, un pasillo entre dos edificios, etc. Las propiedades de translucidez impiden perder de iluminación natural del espacio, brindando una elección interesante y alternativa para la protección de los usuarios.

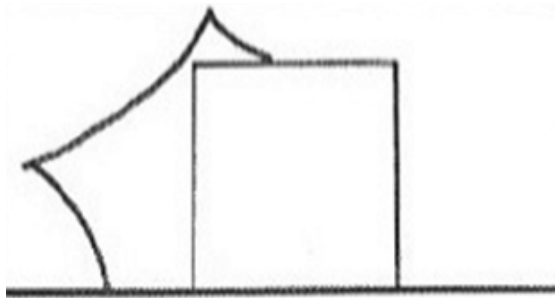


Figura 17

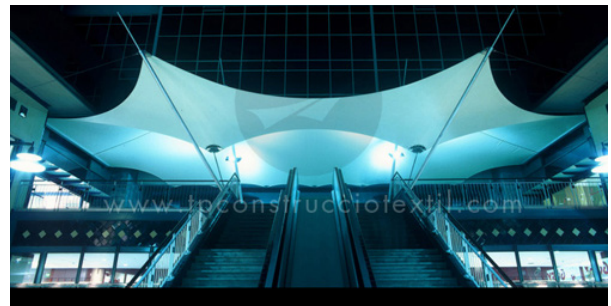


Figura 18

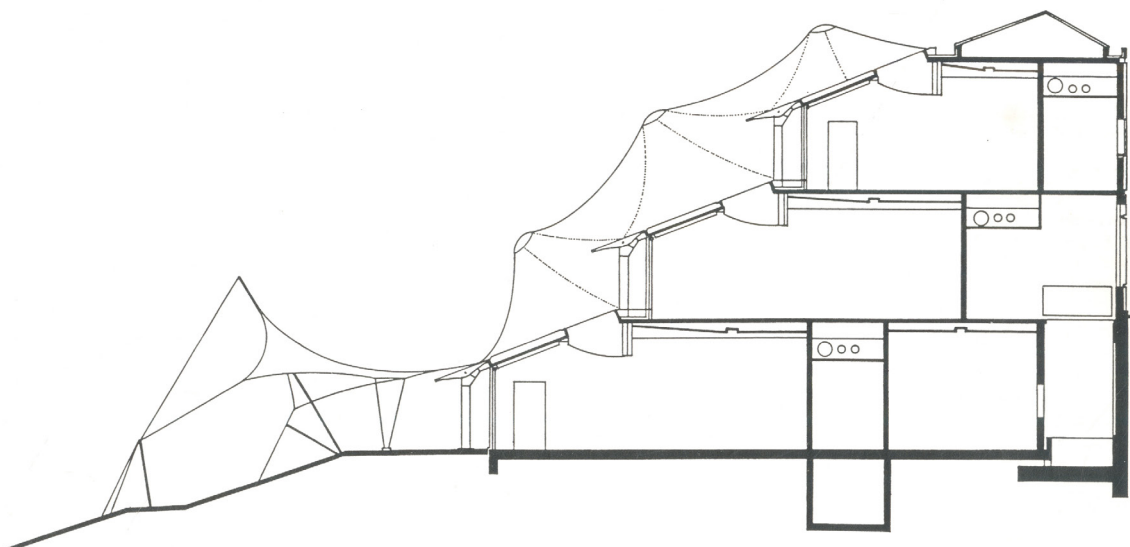


Figura 19

Cubiertas móviles

Este tipo de cubiertas tienen la ventaja de poder montarse y desmontarse relativamente fácil mediante deslizamientos. Se puede alterar su forma gracias a las propiedades previamente diseñadas y elegidas tanto de materiales como del diseño propiamente. Se puede adecuar el uso dependiendo de las condiciones que se quieran lograr en su interior, por ejemplo en una piscina.

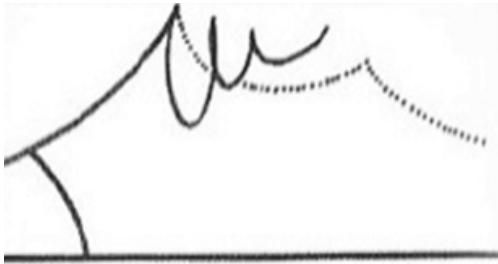


Figura 20



Figura 21

Cubiertas interiores móviles

Estas cubiertas pueden ser utilizadas como persianas interiores para la regulación de la luz así como la privacidad de los usuarios. El mecanismo al ser retráctil resulta relativamente fácil y puede ser automatizado para su manejo por los mismos usuarios.

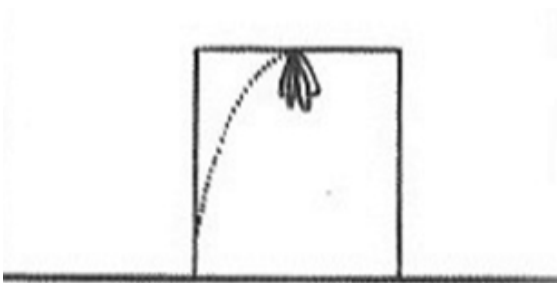


Figura 22



Figura 23

Cubiertas adosadas móviles

De la misma manera que las cubiertas descritas anteriormente, estas están compartiendo algún elemento arquitectónico por el cual se crea una conexión y una mayor protección a la intemperie con la ventaja que al ser móviles estas pueden adaptarse mejor a los edificios y aún así cumplir con la función principal que es la de abrir o cerrar un espacio. (Forster, 2004. Pg. 74)

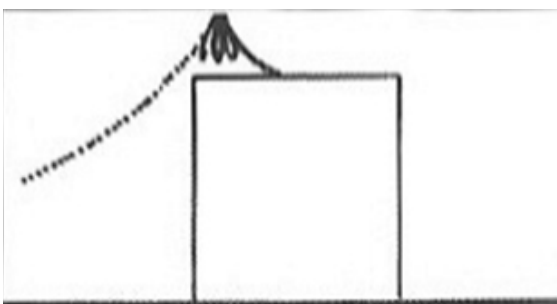


Figura 24



Figura 25

4.5 Ambiente Interior

La aplicación de los diseños de estructuras tensadas para diferentes usos y en diferentes escenarios como hemos podido ver, mantienen un grado de incertidumbre ante los comportamientos de las acciones del clima. Debido a su ligereza y translucidez, los cerramientos no pueden ser considerados como iguales a una construcción tradicional. Es importante poder ofrecer el control de los parámetros tanto lumínicos, acústicos y térmicos para justificar su viabilidad como arquitectura.

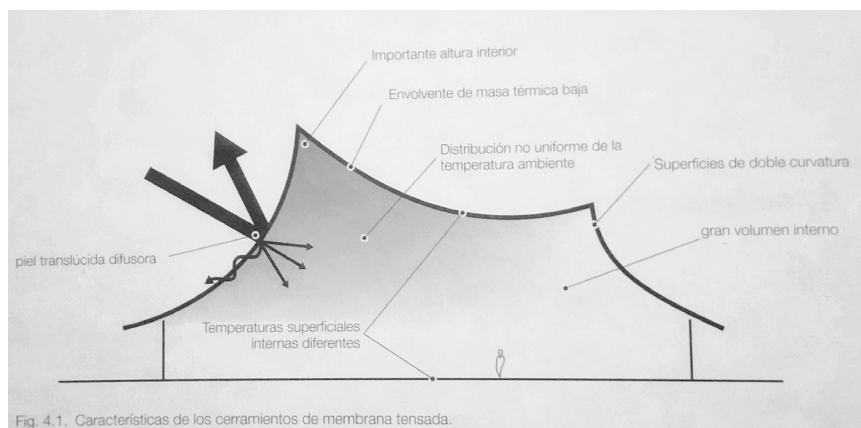


Fig. 4.1. Características de los cerramientos de membrana tensada.

Figura 26

El uso de membranas que tienen un espesor sumamente delgado hace que las temperaturas exteriores sean trasladadas casi instantáneamente, según Forster las mediciones han mostrado que la diferencia entre las dos superficies opuestas de una sola piel de membrana es siempre menor de 0.5°C . Las pérdidas y ganancias de calor se transfieren casi directamente por la radiación solar directa, sin embargo se pueden percibir diferencias dependiendo de la forma y la zona de exposición de la membrana. El hecho de que existan puntos más altos para la formación de la doble curvatura beneficia a la concentración del aire caliente en estos puntos altos creando una oscilación de temperaturas internas. Estas complejas corrientes de aire interno dan como resultado una distribución de temperatura no uniforme en el espacio, y hacen que sea difícil predecir las condiciones térmicas que se experimentan al nivel del usuario.

En las construcciones convencionales el control térmico se puede lograr con diferentes estrategias como es el del aumento de la masa de los cerramientos y la aplicación de aislantes, mientras que en las superficies tensadas por la delgadez del material resulta limitado por este medio. Se puede controlar con otros medios como por ejemplo la convección y las estrategias de ventilación natural o en su caso mecánica.

El análisis de los tipos de radiación que inciden en las membranas es de suma importancia para saber como actuar para una mejor en cuanto a los efectos y las transmitancias reflejadas en las membranas. Como menciona en el libro, la radiación solar y la radiación infrarroja producen propiedades ópticas diferentes (reflextancia solar y absorptancia solar).

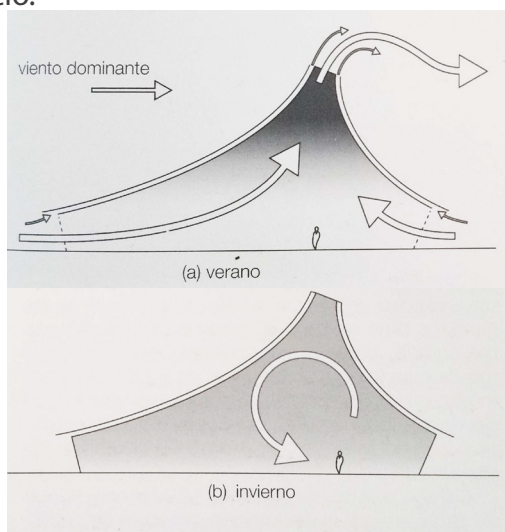
Factores como el espesor, el color y propiedades químicas de las membranas influyen para el comportamiento de las radiaciones antes mencionadas. Específicamente la reflectancia solar y la emisividad del material. Un método interesante para ayudar al control térmico interior es el de incrementar el número de hojas de la membrana. Principalmente se utilizan para reducir la transmisiones de calor y el incremento solar de los cerramientos, aunque su uso también puede ser reflejado en el ámbito acústico y protección contra el fuego.

Entre las dos hojas se deja un espacio de cámara de aire en el cual se pueden utilizar algunos otros rellenos aislantes. La cámara reduce la transmisión de calor por convección entre la membrana exterior y el espacio cerrado (Forster, 2004. pg 95). Otro punto a favor del uso de ésta técnica es el control del diseño interior del espacio pudiendo ser éste diferente al exterior. Hay que tener en cuenta al diseñar este tipo de cubiertas los requerimientos necesarios para su correcto funcionamiento como son las renovaciones de aire, absorción acústica y vigilar las deformaciones en la capa exterior.

Cada fabricante tiene los datos de las características de las membranas fabricadas que pueden ser tomadas para el estudio mas detallado por un profesional del campo en temas de optimización energética.

Ventilación

En cuanto a temas de ventilación natural, este tipo de construcciones por sus características de apertura y contacto casi directo con el exterior debe ser bien planeado las renovaciones de aire para el mejoramiento y control de su temperatura interior. De acuerdo a las recomendaciones del Forster la estrategia de ventilación es suministrar aire exterior para limitar la acumulación de aire caliente en el interior. Este flujo de aire debe realizarse de manera controlada para poder expulsar el aire preferentemente por el punto mas alto de la cubierta, beneficiando así el confort de los usuarios. Otro punto de control importante es el suministro del aire en temporada de invierno y evitar eliminar el calor generado en su interior. Se puede regular la entrada y salida de aire por medio de aberturas ajustables en los cerramientos verticales en caso que existan manteniendo siempre la estanqueidad del edificio.



CONSTRUCCIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA *Figura 27*

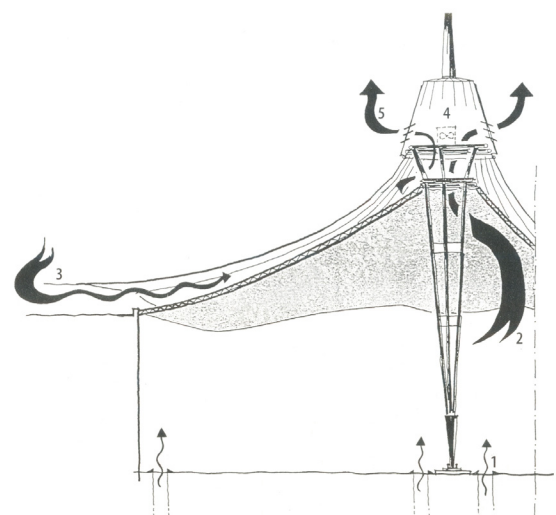


Figura 28

Control Solar

Gracias a las propiedades de las membranas que tienen una alta reflectancia, una fracción de energía solar es la que se transmite directamente o es absorbida por la membrana. Por tanto, existen dos tipos de ganancias, la directa y la indirecta. La primera es transmitida a través de la piel de la membrana y es directamente radiación difusa y la indirecta es la fracción de la radiación solar absorbida por la propia tela, lo que hace que se caliente. Esto en forma de radiación infrarroja. La ganancia de calor generada en el interior de las cubiertas es principalmente debido al efecto invernadero que se genera gracias a las ondas largas de la radiación infrarroja. Aunque este efecto es mucho menor al producido en superficies acristaladas según Forster.

Las estructuras de membrana se utilizan en muchos de los casos para la protección solar, es decir la producción de sombra. El uso de membranas con altos grados de reflectancia a la radiación hace que sea una solución viable, tanto para el control térmico interior como para las funciones estéticas requeridas. Es importante contemplar los índices de exposición al sol y la posición geográfica para saber elegir entre las membranas protegidas PTFE según sea el caso.

La condensación producida por la ganancia solar es inevitable en zonas climáticas frías y húmedas, hay que tener en cuenta este fenómeno para poder controlarlo sin que la estructura sufra daños graves. Esto se puede cuantificar con modelos térmicos dinámicos, que proporcionan la temperatura superficial interna y la humedad relativa en cada hora. (Forster, 2004. pg 104). Diversas técnicas pueden ser implementadas para el control interior de esto, los diseñadores deberán evaluar este factor económico previamente para garantizar la viabilidad del proyecto.

Ambiente visual

Como se ha mencionado anteriormente, una de las grandes cualidades de este tipo de arquitectura es la transmisión de la luz. Gracias a la elección de membranas que permiten un elevado coeficiente de transmisión de luz de hasta un 15%.¹ Este factor convierte a la estructura en una más sostenible, eliminando la necesidad de iluminación artificial durante las horas del día. Esta característica es una de las principales para obtener una buena visión estética así como también funcional para las actividades realizadas en el espacio. Al ser un espacio uniformemente cubierto, la luz se dispersa de esta misma manera lo cual genera un ambiente agradable, esto teniendo factores dependientes de la orientación que se elija para la ubicación. Gracias a esto se puede conseguir hasta un 10% de niveles de iluminación en comparación con los edificios convencionales que usualmente consiguen un 3%.² Aún en días nublados es posible conseguir una buena iluminación en el espacio interior.

1. *Arquitectura Tèxtil. Guia Europea de Disseny de les Estructures Superficials Tensades*. Cifra obtenida del Capítol 4.2 Ambiente visual, ubicat a la pàgina 111

2. *Arquitectura Tèxtil. Guia Europea de Disseny de les Estructures Superficials Tensades*. Cifra obtenida del Capítol 4.2 Ambiente visual, ubicat a la pàgina 112

Acústica

Para un buen comportamiento acústico en el espacio interior es necesario tener en cuenta dos factores acústicos principales.

1. Los ruidos aéreos y los ruidos externos. Dentro de estos está contemplado el tráfico tanto de aviones, como de otros vehículos. Otros ruidos pueden provenir de los efectos climáticos como es la lluvia o el granizo.

2. La elección de las membranas adecuadas condicionará también el comportamiento acústico así como también la forma elegida.

Usualmente se utilizan las membranas con doble capa, por lo tanto mejoran acústicamente el espacio, aunque esta reducción no es la más eficiente para los ruidos externos. Se han realizado algunos estudios sobre el comportamiento al ruido en relación al nivel de tensado de la membrana, y la adición de peso en la cámara de aire interna mejorando el aislamiento a las bajas frecuencias del material, aumentando un poco la resistencia a las transmisiones. Otro factor que también se estudió fue el dimensionado de la cámara intermedia. Se observó que éstas deben ser superiores a 500 mm¹ para que pueda funcionar de manera más óptima.

Al momento de la fase de diseño, las pocas recomendaciones que se pueden hacer para este campo es cuidar las juntas y uniones perimetrales a otros elementos arquitectónicos para evitar la transferencia de sonidos de un lado a otro. Otra forma de predecir el comportamiento acústico sería la producción de modelos a escala ó por métodos numéricos, aunque éstos métodos no pueden garantizar el comportamiento real, ya que es complejo simular en un material real a escala el sonido que podría generarse en el ámbito de estudio. Una vez completada la construcción del espacio es mejor realizar las pruebas *insitu* y a partir de datos reales realizar los ajustes necesarios. Actualmente poco se sabe del comportamiento real de el sonido dentro de estas estructuras, es un interesante campo abierto a la investigación.

Comportamiento al fuego

En principio los materiales utilizados para la creación de las estructuras tensadas pueden ser de PVC o de fibra de vidrio entre otras. Al aparecer una situación de incendio a los 70°C la termofluencia aparece y las uniones se debilitan y se abren por encima de los 100°C. Cuando esto pasa se crea un agujero en la membrana, que a su vez deja libre el paso al humo. Este material perdido se autoextingue, es decir,

1. Arquitectura Têxtil. Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas. Cifra obtenida del Capítulo 4.2 Ambiente visual, ubicado en página 116

2. Arquitectura Têxtil. Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas. Cifra obtenida del Capítulo 4.2 Ambiente visual, ubicado en página 116

gracias a los aditivos puestos en el material no caen gotas de fuego o material.

En cambio los materiales de fibra de vidrio aguantan temperaturas de hasta 1000°C y las uniones con protección PTFE fallan a temperaturas aproximadamente a los 250°C.²

Es fundamental la buena elección de material para la cubierta de acuerdo a las necesidades y tomar en cuenta los factores de fuego, ocupación y los riesgos de propagación que puedan existir.

4.7 Casos de fallo de elementos producido por el viento.

Instalación de entrenamiento del equipo Dallas Cowboys



Figura 29



Figura 30



Figura 31

En el año 2009 las instalaciones de practica interior del equipo de football Dallas Cowboys colapsaron tras el paso de una tormenta severa. De acuerdo a los reportes oficiales la estructura contempló las cargas de viento originalmente de 90 mph aunque los vientos registrados en la tormenta fueron de 55 a 65 mph, por tanto cumplía con las distintas normativas. Posteriormente se hizo una intervención en la estructura cambiando la membrana de cubierta. Esta en un principio fue confeccionada con un patrón en el que en algunas zonas con costuras atirantadas y correas para un mejor soporte a las acciones externas, sin embargo habia zonas en donde no se confeccionó de esta manera.

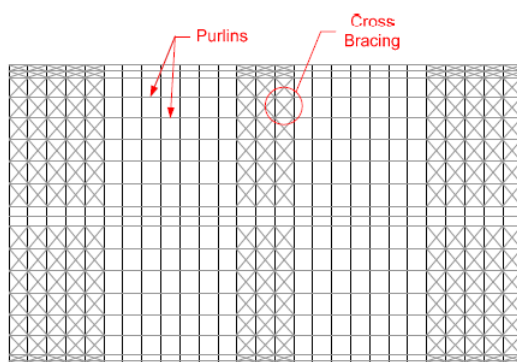


Figura 32

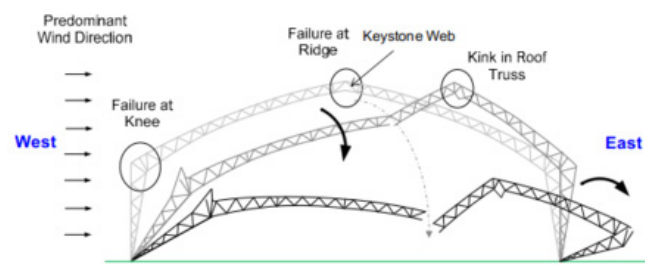


Figura 33

En principio la estructura contemplaba los esfuerzos del viento, más sin embargo debido a discrepancias encontradas por el comite de NIST (National Institute of Standards and Technology) en el diseño estructural y la falta de refuerzos estructurales en las juntas y puntos de uniones de la estructura metálica fueron los causantes principales del colapso de la estructura, así como el cambio de dirección del viento que no estaba contemplado en el cálculo de la estructura en un inicio. Otro factor que influyo a este accidente fue el descuido en el control de los cerramientos de la instalación ya que ésta en sus especificaciones constructivas y de uso mencionaba el cierre de esta en todo momento para evitar el cambio de presión interna, con el evento de la tormenta esta fue alterada, contribuyendo este factor al colapso también. Finalmente en el año 2008 cuando se realizaron las intervenciones de renovación hubo discrepancias en el mantenimiento de la estructura comprometiendo la seguridad estructural general de la instalación. Estos sucesos provocaron lesiones en 12 personas, dos de ellas con lesiones graves con consecuencias permanentes .

Estructura temporal para festival de musica en Indiana State Fair EUA. 2011



Figura 34



Figura 35

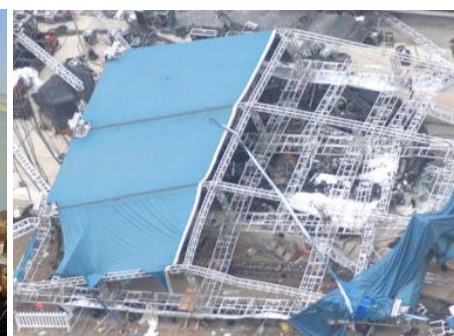


Figura 36

Como sabemos, para realizar el diseño y construcción de estructuras temporales tales como escenarios, cubiertas provisionales, gradas, etc. no existe una normativa específica para tales actividades. En este caso el colapso se produjo durante el festival de música Indiana State Fair mientras los espectadores esperaban que saliera el grupo Sugarland al escenario. Una fuerte ráfaga de viento de 59 mph produjo el colapso de la estructura montada para el concierto. Thorton Tomasetti, inicio con la investigación sobre el accidente ocurrido primero comparando la velocidad del viento que se registró con los códigos y normativas estadounidenses bajo las que se diseño la estrucutra. Posteriormente creó el análisis con modelos finitos introduciendo las cargas de viento y su comportamiento. Tomasetti determinó que el fallo de la estructura se debió a 4 causas principalmente.

1. Capacidad de elementos de hormigón de contención
2. Capacidad de cables tensores y cinchos de seguridad.
3. Insuficiencia capacidad estructural de conexión de pletinas metálicas
4. Membrana

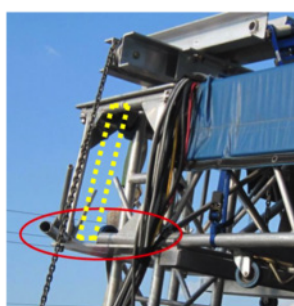


Figura 37

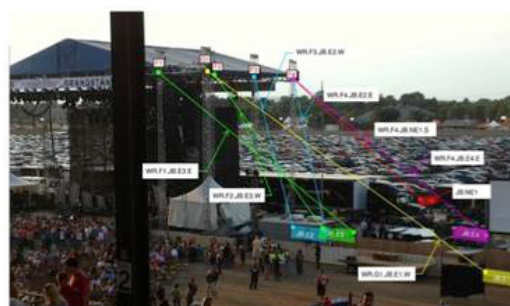


Figura 38

Los elementos de barrera de hormigón fueron utilizados como contrapeso para la sujeción de elementos de estructura, éstos resistían vientos de 23 a 45 mph, por tanto al empezar a fallar estos debilitaron la estabilidad de la estructura. De acuerdo al estudio de Tomasetti, los cables tensados superaron su límite de stress sobrepasando 10 kips en algunas áreas (Kleinosky, 2012). El fallo del elemento de unión que era la pletina metálica como se puede apreciar en la figura 37 indica en amarillo donde debería haber estado y en área roja cómo perjudicó a la unión de los tubos metálicos. Por último, después de que éstos factores aparecieran, el inevitable desprendimiento de la membrana de cubierta termino por colapsar la estructura. La pérdida de estabilidad y arriostamiento que daba a la estructura se vio debilitada en los puntos de unión de cuerdas y la fuerza de arrastre de ésta añadió cargas laterales que no podían ser soportadas por la misma estructura ya en colapso.

Desafortunadamente en este accidente hubo 7 personas fallecidas y cerca de 40 más resultaron heridos. (Kleinosky, 2012)

Sultan Mizan Zainal Abidin Stadium



Figura 39



Figura 40



Figura 41

Tras un año de haber sido inaugurado el estadio en Malasia se produjo el colapso parcial de la cubierta de éste. El diseño y la construcción de este estadio se realizaron de manera rápida para poder finalizar las obras y poder abrir sus puertas para los juegos Skuma en el año 2008. Desde el inicio del proceso de diseño hasta la última fase se registraron fallos, negligencias y corrupción para la realización del estadio. De hecho, el informe oficial del análisis del colapso realizado no fue liberado públicamente como se hace en EUA. Para poder acceder a él fue necesario el pago de caras tasas, esto priva a la comunidad de estructuristas, arquitectos y demás gremios a el aprendizaje de los errores.

El fallo de la estructura comenzó con el diseño, desde el análisis de cargas así como los tipos de conexiones entre los miembros metálicos, estos considerados semi articulados en vez de articulados. Debido a esto y a la geometría propuesta inicialmente la transmisión de cargas no se realizó correctamente a los cimientos, contribuyendo a su colapso. Debido a la rapidez con la que se tenía que realizar el proyecto muchos aspectos tanto de construcción como de control de obra fueron insuficientes y sin un plan correcto de erección de la cubierta, este sin la correcta supervisión por parte de la empresa constructora.

Trás la investigación realizada encontraron que los puntos de conexión y soldadura de miembros metálicos tampoco fue el adecuado sumando a todo lo anterior y en combinación resultando en el fatal accidente. Este se produjo irónicamente el día que se tenía previsto la intervención de la estructura tras registrar anomalías (Aumillier, 2009).

Fallos y colapsos de diferentes estructuras tensadas.



Figura 42



Figura 43

Estructura tensada en aparcamiento de centro comercial, Houston 2008. Se registraron vientos de 50 mph lo que causaron la fatiga del anillo de sujeción al mástil de soporte llevándolo a la rotura. Esto produjo que la membrana cayese.



Figura 44



Figura 45

Estructuras de "túnel" utilizadas como invernadero y la producción agrícola, entre las múltiples ventajas resulta su fácil instalación, bajo coste, ventiladas fácilmente. Aunque estas también traen consigo desventajas estructurales y poca resistencia a vientos fuertes, en la figura 68 en el estado de Kansas, EUA esta estructura fallo debido a las cargas de viento y nieve aplicadas. La figura 46 también colapsó debido a una tormenta con altas velocidades de viento también en el estado de Kansas.

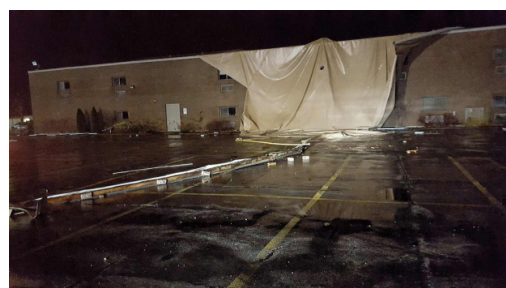


Figura 46

La membrana de la cubierta de este edificio en Hamilton, EUA, que medía 53 x 23 metros fue desprendida de la envolvente del edificio debido a fuertes vientos. La rotura de la membrana produjo también consecuentes fugas en la instalación de gas. No se registraron daños posteriores a las instalaciones ni al resto del edificio.

4.8 CFD (Computational Fluids Dynamics)

El uso de CFD por sus siglas en inglés “computational fluid dynamics” se utiliza para asistir en el diseño arquitectónico y estructural de membranas tensadas. Con la realización de un modelo 3d se puede analizar tanto su comportamiento como en combinación con el terreno y el entorno. Una vez que el modelo ha sido terminado, los resultados esperados es la mejor forma visualmente con la mejor optimización en cuanto a su diseño estructural. Éstos estudios son una alternativa parecida al estudio en túneles de viento y el debate de cuál método es mejor ha sido tema desde hace algunas décadas (Stouffs, 2013).

El propósito del análisis de fluidos computacionales en edificios es básicamente la influencia del viento sobre él. Es posible dar a conocer tasas de renovación de aire, niveles de confort, estudios de presiones, difusiones de aire. Con el CFD es el análisis de grandes edificios y su interacción con el viento se pueden ver los flujos de viento alrededor de él, éstos en veces resultando incómodos o peligrosos a nivel del peatón. Es posible analizar también contaminación urbana y transmitancias térmicas en edificios. Entre otras disciplinas donde se utiliza el CFD está el espacio aéreo, el automotriz, así como el diseño industrial y ahora el diseño arquitectónico.

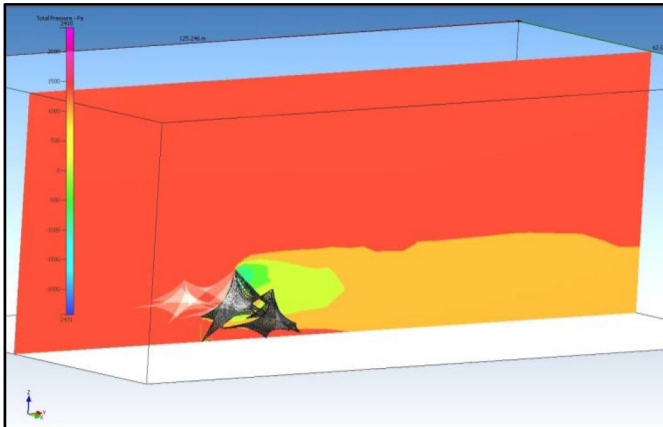
Con los estudios de fluidos computacionales se han abierto posibilidades de análisis de proyectos gracias también a la posibilidad de ingresar múltiples direcciones de viento en el mismo caso. Aunque es también cierto que no es un método de fácil entendimiento para arquitectos e ingenieros que no están familiarizados con dichos ensayos.

El debate entre el diferente uso de métodos como son el CFD y el túnel de viento varía en situaciones y obtención de información. El túnel de viento nos brinda información de una región puntual cuantitativamente. Mientras que el CFD analiza globalmente el volumen.

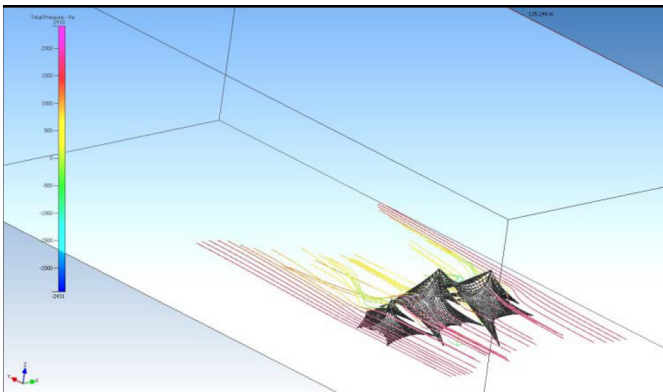
Algunas de las ventajas del uso de CFD en combinación con estudios de elementos finitos son:

- Parametrización de modelo incluyendo datos geográficos, topográficos y del entorno.
- Varias direcciones de viento
- Resultados más rápidos que los obtenidos por un túnel de viento debido a su larga preparación para montar las pruebas.
- Flexibilidad de cambios relativamente rápidos al modelo 3D por tanto la optimización de la forma y diseño resulta más eficiente.
- Obtención de mapas de presión en las membranas para el mejor diseño de soportes, anclajes y cimentaciones.

En el siguiente proyecto de análisis de CFD se muestra la influencia del viento al estar las membranas unidas una a otra. Analizar estructuras como éstas es complicado con los códigos que existen actualmente. Una vez que esté simulado se termina de evaluar en conjunto con elementos finitos. El proyecto se ubica en Abu Dhabi, UAE. Llamado YAS Island BBQ Area, construida el 22 de Octubre de 2009.



Visualización de estructura de 384 pies cuadrados de PTFE bajo la influencia del viento al exterior.



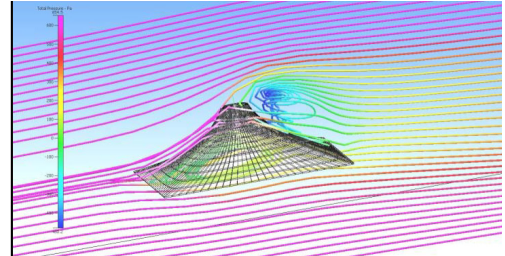
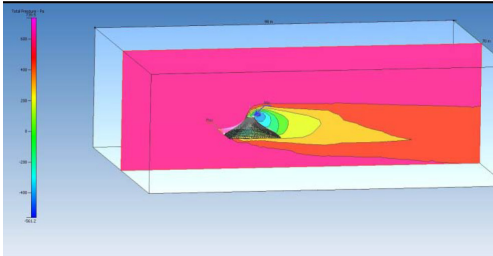
En éste caso consiste la unión de 3 estructuras con forma cónica y dos paraboloides hiperbólicos. En esta imagen se muestra gráficamente la turbulencia afectando al conjunto.



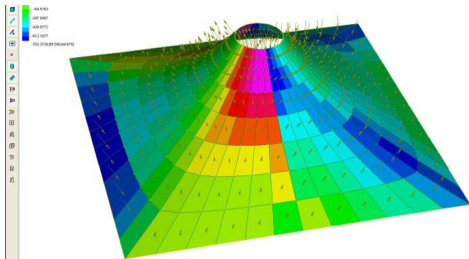
Construcción del proyecto de cubiertas para barbacoas.

Figura 47

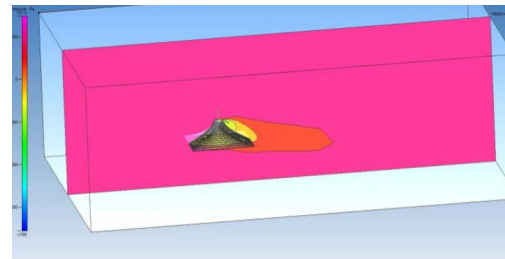
Este análisis de CFD fue llevado a cabo a una estructura cónica en un edificio del hotel Spring Hill Suites ubicado en la ciudad de Miami, Florida, EUA. Construida el 20/10/2009



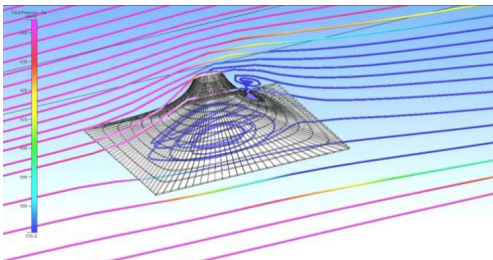
En este estudio se puede observar el modelo de una estructura cónica siendo analizada por CFD. En éstas dos figuras se puede apreciar el flujo del viento sobre el anillo de anclaje superior.



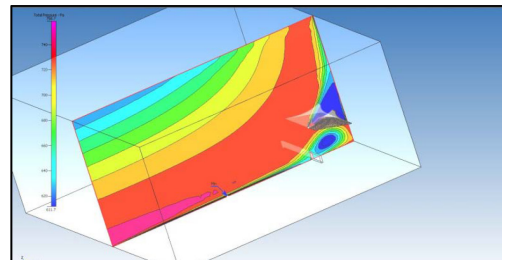
Se puede observar en esta figura el mapa de presiones al exportarlo a un análisis de elementos finitos. En donde la zona alrededor del anillo de anclaje superior muestra la mayor afectación.



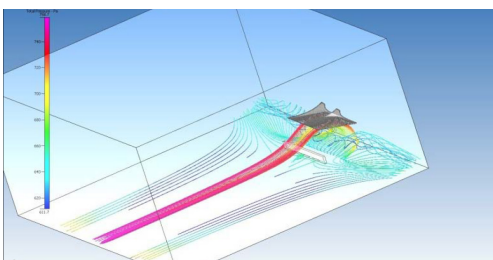
En la siguiente imagen se puede ver el efecto del viento con el anillo de anclaje cerrado.



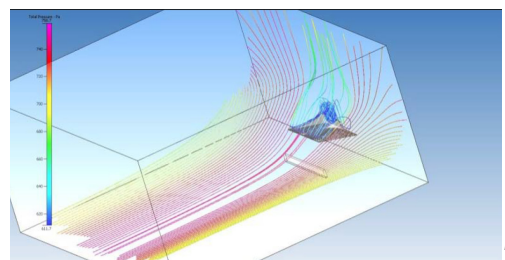
Al estar el anillo cerrado el programa muestra las turbulencias provocadas en la parte inferior de la estructura.



En esta situación se montan 2 estructuras cónicas adosadas a un edificio y se puede observar el flujo del aire ilustrado.



Debido a la altura de las cubiertas y el hecho que esté adosada al edificio produce turbulencias al exterior de la planta baja, lo cual puede ser molesto para los peatones



La visualización de la turbulencia alcanzando niveles más altos los cuales podrían afectar la fachada del edificio por tanto debe tenerse en consideración durante la fase de diseño.

Figura 48

4.9 Túnel de viento

Los túneles de viento, mejor dicho túneles aerodinámicos son un instrumento científico-tecnológico cuya aplicación es el estudio de un objeto dentro de él y la aplicación de una corriente fluida de aire ó gas. Esta acción en la medida de los obstáculos a estudiar se obtienen los resultados de los fenómenos físicos en los que el aire en movimiento juega el papel más importante. El túnel posee cámaras de ensayo donde se coloca el modelo en escala reducida que guarda determinadas semejanzas con el prototipo y se miden diversos parámetros que se extrapolan a los valores reales. Los primeros túneles no representaban el viento natural y el flujo de aire reducido era de un escurrimiento laminar uniforme con escasa turbulencia y se utilizaban para el estudio de aviones en modelos reducidos. (CIRSOC 102).

Como se ha mencionado antes, en ocasiones, los edificios a construir tienen particularidades o diseños ajenos a los modelos propuestos en la normativa así como también situaciones topográficas especiales. El analizar su geometría bajo la corriente continua de aire podría servir para su análisis estructural que es también una opción posible dada por las normativas, siempre y cuando se realicen con las características requeridas. Es por eso que al suministrar a los diseñadores información sobre las particularidades del viento en las proximidades del objeto se puede proveer información sobre las presiones, cargas globales, y siendo en este caso la estructura flexible se pueden percibir los fenómenos aeroelásticos del comportamiento. (Gomez, 2013)

Las vibraciones producidas por el viento serán de una precisión más real que las que se obtienen mediante otros métodos (análisis computacionales).

Los estudios en túneles aerodinámicos pueden llegar a ser costosos, es por eso que se debe analizar las razones reales por las cuales se necesita y si es viable de acuerdo al proyecto que se va a realizar. Estas pueden ser; Que el proyecto sea de tal magnitud que económicamente sea permitible realizar este estudio. La incertidumbre de cargas, cuando el temor que la estructura o el diseño de la misma no sea la adecuado será necesario realizar las pruebas. También es necesario saber el uso del edificio, si éste albergará a muchas personas dentro y su seguridad se viese comprometida.

Los modelos que se ensayaran deberán ser geométricamente semejantes a la estructura real así el comportamiento y los resultados podrán ser fiables. Un dato importante a mencionar es que los túneles aerodinámicos son diseñados para usos específicos, es decir, por su tamaño y características físicas limitan el uso de modelos y tamaños por tanto encontrar el adecuado para el modelo a analizar es una tarea importante. En el caso de análisis de modelos arquitectónicos el diseño de un túnel aerodinámico necesita una alta velocidad para que los sensores instalados en el modelo permitan registrar las variaciones tanto de ruido como de señales generadas por el viento. En caso que la velocidad del viento sea mayor a la que se ocupe de acuerdo a la semejanza del modelo es

necesario instalar un difusor para desacelerar la velocidad de la corriente de modo que esta este en el ambiente correcto. Respecto a las técnicas de ensayo los procedimientos utilizados para las pruebas de modelos flexibles en túneles aerodinámicos dependerán de la intención del estudio a realizar así como también del presupuesto y espacio disponible ya que estos dos últimos factores condicionan completamente el alcance del estudio.

Tras cumplir con algunos requisitos es posible recurrir a éste tipo de pruebas para la comprobación de coeficientes para el cálculo de estructuras. Dichos requisitos incluyen la semejanza geométrica, semejanza cinemática y semejanza dinámica tanto en el modelo a realizar como con las características del túnel de viento.

Existen dos tipos de túneles de viento:

1. Abierto: El aire viene del exterior y una vez que lo ha recorrido este sale directamente sin obstáculos. Usualmente tienen un cono de normalización del flujo para posteriormente acelerarlo en una sección un poco más cónica para ser recibido por el área de ensayos en donde se coloca el modelo y dónde se realizan las mediciones.



Figura 49

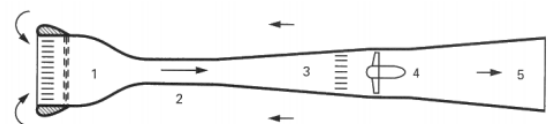


Figura 50

2. Cerrado: A diferencia del anterior, éste recicla el aire pudiendo así controlar la temperatura, densidad y presión.



Figura 51

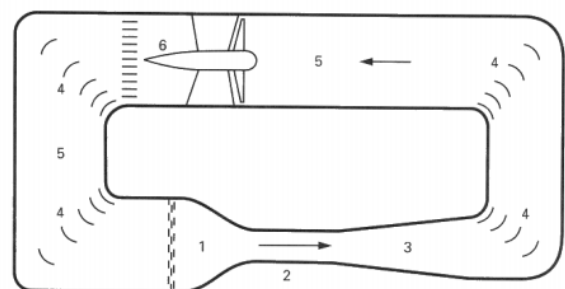


Figura 52

El estudio del viento será realizado en un túnel fabricado y de propiedad de la Universidad Politécnica de Cataluña. El ventilador con el que ya se contaba se ha ajustado para el correcto funcionamiento de las pruebas mediante el diseño y construcción de un túnel transparente que es posible montarlo y desmontarlo del ventilador industrial utilizado.

La elección del plástico transparente fue para poder realizar las maniobras y poder observar desde afuera así como para también permitir el paso de luz natural a través de él. Gracias a este tubo el viento producido por el ventilador evita que se disperse, enfocándolo directamente al modelo flexible. Gracias a pruebas que se realizaron con un anemómetro el promedio de producción de viento es de 40 km/hr. Se pueden percibir diferencias en diferentes zonas del túnel, sin embargo los registros en el centro de este son en promedio de esta velocidad.

Las dimensiones del túnel permiten la maniobra y cambios de dirección en la maqueta fácilmente por la persona realizando las pruebas ya que al estar libre por el extremo donde no está el ventilador el contacto es directo y seguro. El túnel es de circuito de fluido abierto, es decir que permite la entrada y salida del aire de la atmósfera sin regresar a utilizarse (retorno). También se utilizó en primera instancia una máquina productora de humo para la visualización del viento actuando sobre las superficies de la maqueta, lamentablemente, en las primeras pruebas el humo producido por la máquina no era suficientemente denso en relación con la velocidad del viento producido por el ventilador como para poder visualizar correctamente el comportamiento. Como segunda opción elegimos los botes de humo de colores, con una duración de 1 minuto. Este humo al ser de color y más denso permite mejor la visualización del movimiento de la membrana, sin embargo al concluir con las pruebas estos tampoco fueron de mucha ayuda. Por la misma razón de la velocidad rápida el humo se dispersó resultando difícil de visualizarse sobre la maqueta.



Figura 53



Figura 54



Figura 55

5

NORMATIVA EXISTENTE

En el campo del diseño y la construcción de estructuras tensadas existen algunas normativas y códigos que seguir para su correcto desarrollo más no contienen todos los aspectos necesarios sino que estos documentos se han generado para establecer una guía de mejoras, acuerdos y estándares que seguir por los arquitectos, ingenieros, fabricantes, y demás profesionales relacionados con el campo. Esta serie de documentos ayudan a proteger y regular de cierta manera el diseño, fabricación, conservación y uso garantice la seguridad de las personas, bienes y medio ambiente.

En el presente trabajo me gustaria mencionar lo pertinente al tema en las siguientes normativas:

- Eurocode 1 : Actions on Structures - General Actions - Wind actions.
- Código Técnico de la Edificación CTE SE
- Código Técnico de la Edificación CTE SE-AE
- Norma Europea UNE EN 13782

Eurocode 1 : Actions on Structures - General Actions - Wind actions.

El Eurocódigo es una compilación de documentos en los cuales se habla específicamente de las estructuras tensadas. Contiene 4 documentos en los que se habla de cargas de nieve, acciones durante la ejecución de obra, cargas en puentes y tráfico, mástiles y torres y un ultimo que habla acerca de las acciones del viento.

De acuerdo al Eurocódigo, las acciones del viento varían durante el tiempo y actúan directamente como presiones en las superficies externas en elementos cerrados, así como también actúan indirectamente en el interior de las estructuras cerradas o abiertas (sin cerramientos). Estas presiones son traducidas en fuerzas que actúan en la estructura o en el recubrimiento del elemento. Cuando estas fuerzas están en acción la fricción resulta un factor que también debemos considerar en las superficies.

Los objetivos de este código son el proporcionar datos base para especificar diferentes proyectos de construcción y servicios ingenieriles así como una base también para las especificaciones técnicas que se puedan requerir para la construcción de éstos mismos. El Eurocode provee de reglas y estándares de diseño estructural más no cubre casos particulares o inusuales, éstos deberán ser consultados con expertos del tema en su área de acción.¹

Los vientos deben ser clasificados como acciones fijas para su correcto cálculo de acuerdo a la normativa EN 1990, 4.1.1 En el se mencionan 4 influencias del entorno:

1. Variación de tiempo
2. Origen (directo o indirecto)
3. Variación en el espacio (libre o fijo)
4. Efectos naturales (estáticos y dinámicos)²

¹ Eurocode 4: Wind Actions. Página 19, Sección 3.

² Designers Guide to EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design Capítulo 4.1 Actions and environmental influences.

Permanent action	Variable action	Accidental action
Self-weight of structures, fittings and fixed equipment	Imposed floor loads	Explosions
Prestressing force	Snow loads	Fire
Water and earth pressure	Wind loads	Impact from vehicle
Indirect action. e.g. settlement of supports	Indirect action e.g. temperature effects	

Figura 56

Como se muestra en la Figura 1 del libro *Designer's Guide to EN 1990*, el viento está considerado como una acción variable junto con la carga de nieve, acciones indirectas y acciones del terreno.

Volviendo al Eurocódigo, los valores característicos utilizados (en base al EN 1990) son determinados por los valores básicos de la velocidad del viento y la presión tienen como máximo por año 0,02.³

De acuerdo con el Eurocódigo el efecto del viento en una estructura depende de su tamaño, forma y propiedades aerodinámicas que tenga esta. Estas reacciones también son afectadas por la vibración, la fricción y la turbulencia. Las reacciones deben ser calculadas de acuerdo a la velocidad máxima de presión (q_p), entorno estable, fuerza y coeficientes de presión y su factor estructural ($C_s C_d$). La velocidad máxima va a depender del clima, la orografía, características del terreno y la altura.² Es importante analizar las reacciones aeroelásticas de las estructuras flexibles y sus componentes, cables, mástiles, chimeneas y puentes.

Con la siguiente tabla se resumen los cálculos disponibles en el Eurocódigo para la acción del viento.

PARAMETRO	REFERENCIA EN EUROCODIGO	
Velocidad de viento máxima	Q_p	
Velocidad de viento básica	V_b	4.2 (2)P
Altura de referencia	Z_e	Sección 7
Categoría del terreno		Tabla 4.1
Velocidad de viento máxima característica	Q_p	4.5 (1)
Intensidad de turbulencia	I_v	4.4
Velocidad del viento neta	V_m	4.3.1
Coeficientes de orografía	$C_o(Z)$	4.3.3
Coeficiente de rugosidad	$C_r(Z)$	4.3.2
Coeficiente de presión externa	C_{pe}	Sección 7
Coeficiente de presión interna	C_{pi}	Sección 7
Coeficiente de presión neta	$C_{p,net}$	Sección 7

1. Eurocode 4: Wind Actions. Página 19, Sección 3.4 Characteristic values.

2. Eurocode 4: Wind Actions. Página 19, Sección 3.5. Models.

PARAMETRO	REFERENCIA EN EUROCODIGO	
Presión de viento externo	$W_e = Q_p C_{pe}$	5.2 (1)
Presión de viento interna	$W_i = Q_p C_{pi}$	5.2 (2)

Fuerzas de viento en estructuras generales

-Factor estructural	$C_s C_d$	6
-Fuerza del viento calculada a partir de coeficientes de fuerza	F_w	5.3 (2)
-Fuerza del viento calculada a partir de coeficientes de presión	F_w	5.3 (3)

En general el Eurocódigo hace referencia a los cálculos necesarios para determinar la acción del viento en estructuras tradicionales y edificios. Brinda información para poder analizar diferentes tipos de cubiertas. Es necesario determinar el tipo de estructura y sus diferentes características tanto de presiones como de ubicación de esfuerzos para saber que tipo de cálculo aplicar.

El Eurocódigo también proporciona información necesaria para presiones y fuerzas asimétricas que podrían ser pertinentes o con características parecidas al tipo de estructuras que estudiamos.

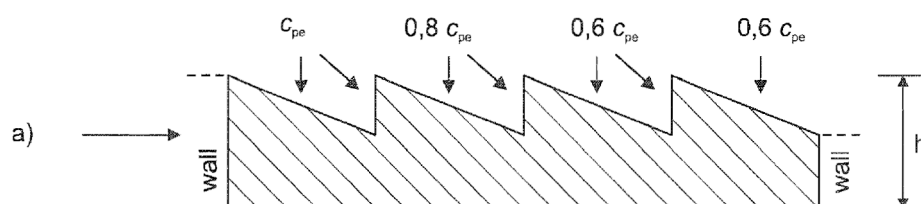


Figura 57

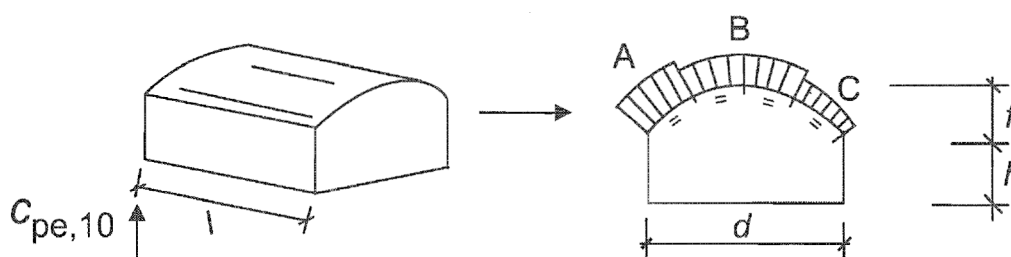


Figura 58

Código Técnico de Edificación - Documento Básico SE Seguridad Estructural

Este documento presenta información necesaria para garantizar el correcto diseño y construcción en la edificación. Su correcta aplicación satisface el requisito básico de “seguridad estructural”. (DB-SE)

Por seguridad estructural se entiende que “el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto.”(DB-SE).

Este documento es aplicable a todos los edificios así como también los de carácter temporal, dictando una temporada de servicio de 50 años en los que se debe garantizar su seguridad, confort y estética visual.

Dentro del contenido del DB-SE especifica siempre cumplir con los estados límite últimos y los estados límite de servicio ya que el sobrepasarlo constituye un riesgo para las personas.(DB-SE).

En el capítulo 3.3.2.4 Acciones dinámicas, se menciona que “la acción del viento se representan como fuerzas estáticas equivalentes. Según el caso, los efectos de la aceleración dinámica estarán incluidos implícitamente en los valores característicos de la acción correspondiente, o se introducirán mediante un coeficiente dinámico.”¹

La acción del viento esta mencionada en el documento en el cálculo de combinación de acciones, estas pueden ser persistentes o transitorias. Se utilizan coeficientes de seguridad para cada tipo de acción así como coeficientes de simultaneidad, donde está considerado el viento dentro de la fórmula a utilizar.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Figura 59

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)	(1)		
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Las acciones combinadas pueden tener diferentes variaciones dependiendo de su duración, es por eso que el documento proporciona diferentes expresiones para dichos casos.

Existe la posibilidad de analizar una estructura con métodos experimentales tal y como lo menciona el documento. Será imprescindible tomar en consideración la mayor similitud en cuanto a materiales, proceso constructivo, dimensiones (escalado según sea el caso) para poder tomar como referencia éste estudio y concluir con la mayor seguridad posible.

Código Técnico de Edificación - Documento Básico SE-AE Acciones en la edificación

En este documento se especifican las acciones en los edificios y de cómo se debe cumplir con dichas reglas para garantizar la seguridad de los usuarios.

En el capítulo 3, se habla del viento sobre edificios en altitudes no superiores a los 2000 mts sobre el nivel del mar. Si este fuera el caso las presiones del viento deben determinarse por otros datos empíricos disponibles. 2 Se menciona que las acciones del viento no son sensibles a los edificios ordinarios por lo que no aplica completamente a el caso de estudio presentado.

Aún así, presento la información disponible para el cálculo de la acción

del viento expresada en la siguiente formula obtenido del DB-SE-AE : $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$

En este documento se provee de datos y coeficientes pertinentes para poder realizar el cálculo para considerar la fuerza de la acción del viento en las estructuras. Como se menciona antes, existen solamente unas estructuras “típicas” formuladas y estudiadas, dentro de estas no están consideradas las estructuras complejas como las estudiadas en el presente trabajo.

Con las siguientes tablas que proporciona la normativa se eligen las características que tengan las estructuras para la elección de los coeficientes de cálculo.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

1. Código Técnico de la Edificación, Seguridad Estructural, Capítulo 5.3 Evaluación de los resultados, página 21

2. Código Técnico de la Edificación, Seguridad Estructural, Acciones de la Edificación, Capítulo 3 Acciones Variables, página 11.

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 3.6 Coeficientes de presión interior

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3

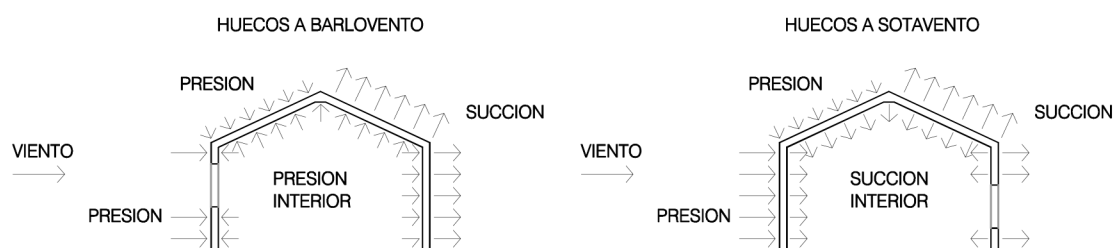


Fig. 3.1 Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana

UNE EN 13782

Esta norma europea especifica los requisitos de seguridad que deben observarse durante el diseño, el cálculo, la fabricación, el mantenimiento, la utilización, la verificación y los ensayos de las carpas móviles y temporales que tengan una superficie en planta superior a 50 m². Para aquellas carpas que tengan una superficie en planta inferior a 50 m² no es necesario elaborar un manual de utilización y el fabricante facilitará una documentación relativa al comportamiento frente al fuego del textil y sobre la estabilidad de la estructura. (UNE EN 13782).

Menciona que para las carpas clásicas de mástil y cordaje se admite un cálculo simplificado y para aquellas que tengan una luz máxima de 12m. y capacidad de 300 personas.

Para la realización de esta norma se tomaron en cuenta partes del Eurocodigo antes ya mencionado. Para la correcta ejecución de la estructura se requiere documentos de diseños en donde se debe incluir información para la verificación de estabilidad, resistencia y la seguridad de su funcionamiento. También debe describir el proceso constructivo y el comportamiento frente al fuego. (UNE EN 13782)

Los aspectos a verificar de acuerdo a la norma UNE basada en el Eurocódigo 1 son los siguientes:

- Análisis de los estados límite
- Análisis de los estados límite de estabilidad, es decir pandeo de las barras y de la cubierta.
- Verificación de los estados límite de deformación
- Verificación al vuelco, deslizamiento y levantamiento.

En éstas verificaciones se debe incluir información pertinente a las cargas del proyecto, información de esfuerzos, dimensiones y detalles de deformaciones.

Cuando el cálculo de las estructuras resulte insuficiente es posible sustituir el análisis por un ensayo realizado por un organismo de ensayo independiente. Este debe efectuar el número adecuado de ensayos, muestras y método operatorio de ensayo conforme a las normas europeas EN. ¹

Deben definirse las características de los textiles y deben demostrarse mediante ensayos las especificaciones siguientes:

- Naturaleza del textil y del recubrimiento
- Peso total
- Resistencia a tracción a 23°C y a 70°C
- Resistencia al desgarro
- Adherencia
- Comportamiento frente al fuego

Es importante mencionar que después de 5 años la resistencia a la tracción no debe ser inferior al 70% de su valor inicial.

En cuanto a las acciones permanentes a considerar son; el valor característico de la acción permanente y el valor característico superior para lograr una estimación muy precisa de las cargas permanentes.

Las acciones permanentes deben determinarse de acuerdo con las normas europeas EN 1991 1-4 .

La estabilidad debe verificarse con una carga vertical convencional de 0,1 kN/m². Esta carga no debe combinarse con otros casos de cargas, salvo con el peso propio.

En el capítulo 6.4.2 Cargas debidas a la acción de viento se habla que estas están basadas también en la Norma Europea EN 1991 1-4 teniendo en cuenta el emplazamiento, la duración, período de instalación, posibilidades de protección y refuerzo.¹

En el capítulo 6.4.2.2 habla sobre las cargas mínimas, menciona que si $V_{ref} < 28$ m/s, la carga debida a la acción del viento por unidad puede evaluarse aplicando los valores mínimos obtenidos de la Norma Europea EN 1991 1-4:

$C_{tem} = 0,8$
 $T_t = 10$ años
 $C_d = 1$
 $C_{alt} = 1$

En la UNE EN 1378 especifica en la siguiente tabla las cargas a utilizar debidas a la acción del viento.

Altura: h	Presión: q
Unidad: m	N/m ²
$h < 5$	500
$5 < h < 10$	600
$10 < h < 15$	660
$15 < h < 20$	710
$20 < h < 25$	760

Figura 61

En el siguiente diagrama presentado en el mismo capítulo ilustra la presión correspondiente dependiendo de la altura de la estructura, este diagrama puede ser utilizado también como referencia para elegir la presión necesaria.

En caso que la anchura de la carpa sea igual o inferior a 10 m y altura igual o inferior a 5 m. se puede utilizar una presión reducida de 300 N/m².¹

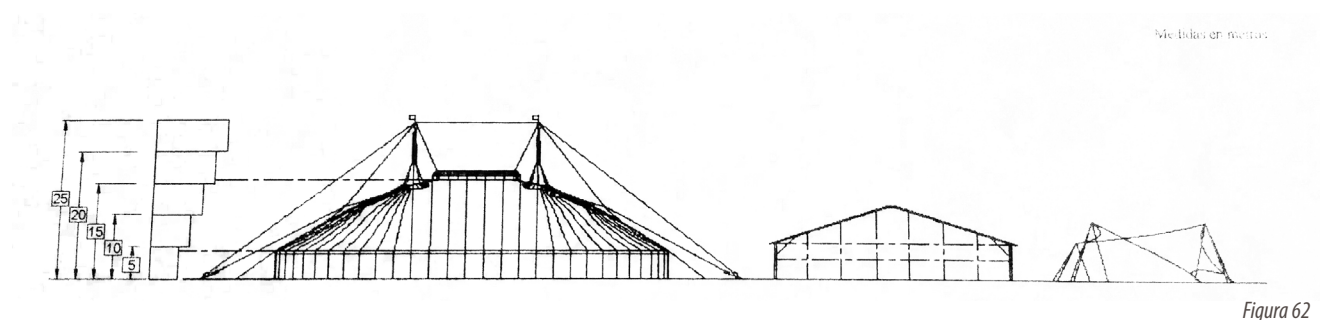
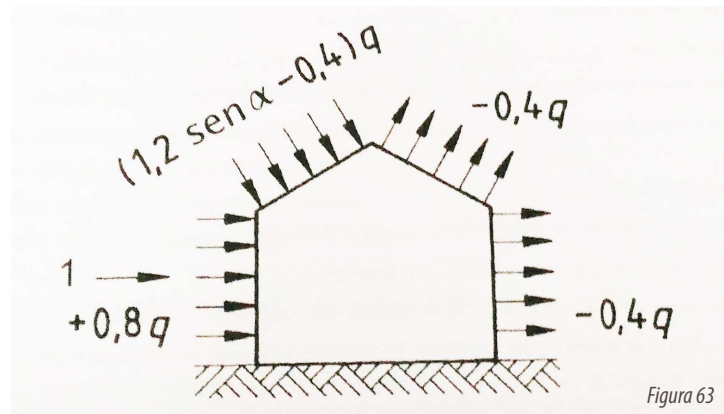


Figura 62

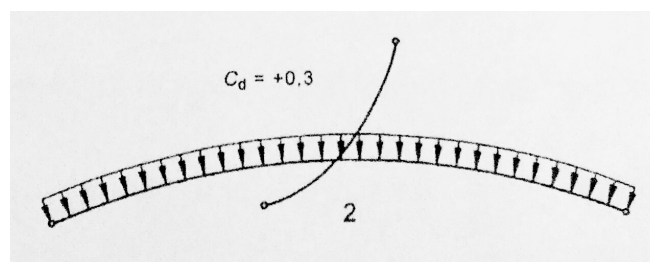
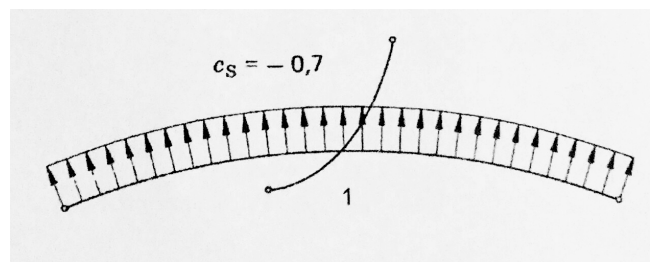
Los factores de forma para las estructuras deben obtenerse de la Norma Europea EN 1991 1-4, sin embargo por la experiencia adquirida con las estructuras de diseño convencional, el factor de forma para las estructuras como la siguiente figura o similares se puede determinar con la ayuda de los factores que se indican en la imagen.²

1. UNE EN 13782, Capítulo 6. 6.4.2.2 Se deben aplicar las cargas mínimas siguientes; página 13

2. UNE EN 13782, Capítulo 6. 6.4.2.2 Se deben aplicar las cargas mínimas siguientes; página 14



En el capítulo 6.4.2.3 Se habla sobre el viento sobre la estructura portante de la membrana. Menciona que los coeficientes de forma pueden obtenerse de la Norma Europea EN 1991 1-4 o de un ensayo en túnel aerodinámico. Estos deben realizarse en un laboratorio experimentado de acuerdo con las características previamente mencionadas en el Eurocódigo 1.



Posteriormente en la norma UNE menciona que las combinaciones de cargas deberían ser aplicadas conforme a la Norma Europea 1991 1-4. Una vez consideradas estas cargas se debe determinar por separado las acciones individuales y los estados límites debido a las combinaciones de acciones y verificar que los esfuerzos no sobrepasen la resistencia de cálculo.

Todas las cargas deben verificarse con la carga más desfavorable y deben suponerse las acciones permanentes, variables o accidentales siempre tienen la misma posición y amplitud que da lugar a los estados límites más desfavorables para los componentes estructurales y mecánicos que se han de calcular.¹

1. UNE EN 13782, Capítulo 7 Verificación de la estabilidad y del equilibrio, página 17.

Otro de los aspectos en el que el viento actúa y que debe tomarse en cuenta es la verificación de los riesgos de vuelco, deslizamiento y levantamiento.

En caso que el peso propio de una estructura no ofrezca seguridad suficiente por si mismo, entonces se deben tomar medidas suplementarias como utilizar contra pesos, anclajes y contrafuertes. Cuanto más precisa sea la determinación del peso de las carpas, tanto mayor será la precisión de los coeficientes de seguridad que se muestran en la siguiente tabla.

CARGA	
1	Porcentaje favorable del peso propio
2	Porcentaje desfavorable del peso propio
3	Acciones desfavorables de las cargas debidas a la acción el viento
4	Porcentajes dsfavorables de otras cargas distintas de las enumeradas en 2 y 3

Nota: Cuando las cargas se indiquen por componentes, se deberían multiplicar dichos componentes por el mismo valor de

Figura 66

Se debe calcular la seguridad frente al riesgo de vuelco y al deslizamiento de acuerdo a las siguientes formulas:

Vuelco: $E_{yMst,k} > E_{yMk,k}$

Deslizamiento: $E_{y u N} > E_{y H}$

El viento tambien es mencionado en el capítulo 7.3 donde menciona que se debe estimar que el peso propio de las lonas secas es de 5 N/m^2 para el cálculo de las estructuras para la que haya que considerar la presión que ejerce el viento por debajo, lo cual se necesita para evaluar la seguridad contra el vuelco y para dimensionar el anclaje.

El viento tambien es mencionado en el capitulo 7.4.3. de la norma UNE EN 13782 donde dice que las fuerzas de membrana debidas al viento pueden considerarse como equivalentes a $0,8 \text{ kN/m}$. Esto se aplica a una luz de 5 m y a una carga de viento $q = 0,5 \text{ kN/m}^2$. Para otras cargas de viento, se puede realizar una conversión mediante una relación constante flecha/luz.



EXPLICACIÓN DEL MODELO RÍGIDO O FLEXIBLE

Las simulaciones de la acción del viento en terreno natural, edificios y otros elementos se pueden medir con pruebas aeroelásticas, es decir, que éstas pruebas pueden arrojar datos de cargas dinámicas y su comportamiento ante ellas. Estas pruebas son específicamente ideales para estructuras con vulnerabilidad ante el viento, de forma esbelta, flexible ó dinámicamente sensible, como es el caso de las estructuras tensadas. Estos estudios pueden proveer de datos más cerca de la realidad de los efectos dinámicos del viento y de las respuestas a los comportamientos elásticos de los modelos analizados. Es recomendable realizar las pruebas con diferentes velocidades para así poder tener un rango de información acerca del comportamiento a diferentes situaciones.

Existen diferentes tipos de modelos aeroelásticos que se pueden estudiar en túneles de viento, estos representan a escala el comportamiento aeroelástico estructural total o parcial, dependiendo del tipo de maqueta que se realice. Esta información es extrapolada analíticamente ó con métodos numéricos hasta llegar al límite de la fatiga, rotura o inestabilidad. Entre las diferentes opciones de tipos de modelos aeroelásticos están las réplicas, modelos equivalentes y los modelos de secciones parciales.

Maquetas réplica: Estas representan completamente el modelo original en una escala diferente, su comportamiento elástico resulta el mismo que el proyecto original. Este tipo de maquetas resulta muy eficiente para el análisis del comportamiento exterior, por ejemplo; chimeneas, torres, estructuras tubulares, etc. Los resultados pueden proveer medidas y parámetros muy aproximados gracias a la propiedad de réplica de dimensiones y forma.

Modelos equivalentes: Este tipo de maquetas representan solamente una parte específica del modelo arquitectónico ya que lo que se pretende analizar es un factor dinámico específico. En caso que el edificio sea de diseño complejo es necesario diseñar un modelo estructural solamente para analizar este aspecto.

Modelos por secciones: Dichos modelos eligen un elemento en específico a estudiar, tal como cables, mástiles, torres, y elementos que pueden llegar a ser tomados como 2 dimensiones. La escala típica de este tipo de maquetas oscila entre 1:10 y 1:100. Los resultados que se obtienen son los comportamientos aerodinámicos en particular de dicho elemento y sus vibraciones, las cuales pueden ser extrapolados a métodos teóricos.

Modelos de edificios altos, torres y chimeneas: El estudio de diseños de edificios altos y esbeltos resulta una interesante práctica para el análisis aerodinámico. Fenómenos como vibración y torsión producida por el viento son algunos de los estudios más importantes. Usualmente la forma del edificio ó elemento resulta ser puntiagudo para favorecer su efecto aerodinámico al viento. Factores también como el entorno y los demás edificios que lo rodeen influyen en el resultado final.

Modelos flexibles: En el caso de las estructuras tensadas y neumáticas la construcción de modelos a escala debe ser geométricamente igual a la estructura real. Representando a escala también materiales de membranas y de cables tensores lo mas aproximado a la realidad. La principal característica es mantener la tensión en el modelo mientras se realizan las pruebas, la relación en comparación a la tensión real y la escalada puede ser aproximada. En cuanto a las estructuras neumáticas el aspecto más importante es mantener la presión interna para poder obtener datos que se acerquen más al comportamiento real.

Modelos de puentes: Para este tipo de estudios se utilizan modelos de secciones parciales o completo a escala. El estudiarlos provee de información del comportamiento aerodinámico, actuación del viento sobre elementos suspendidos por medio de cables, el terreno alrededor, elementos topográficos condicionantes y direcciones de viento. Las escalas utilizadas para este tipo de modelos va entre 1:300 y 1:500.

“Cuando los coeficientes de presión se calculan de manera experimental en un túnel de viento, de forma simplificada, los modelos pueden hacerse en forma rígida ya que se puede considerar que las deformaciones reales de la membrana en condiciones de trabajo, no son muy grandes, tales que puedan influir en el flujo transversal y modificar los coeficientes de presión. Sin embargo, es mejor la utilización de modelos flexibles, formando la cubierta con material textil de propiedades similares a los utilizados en los prototipos. Las pruebas en túnel de viento pueden reproducir cualquier efecto por desprendimiento de vórtices creado por la estructura y que se deben considerar en el análisis.”(Hernández Barrios, H. , 2010).

Hasta el momento lo más común es analizar modelos rígidos y los modelos aeroelásticos son analizados raramente. Estos reproducen las características elásticas de los edificios obteniendo resultados empíricos de la presión y succión del viento, así como también son de gran ayuda al entendimiento de las reacciones. El hecho que permita la deformación de la maqueta permite evaluar la respuesta de una estructura a la acción del viento.

La relación del estudio de maqueta flexible y fluidos, en este caso de humo permite la visualización de las fuerzas aerodinámicas en la superficie de contacto y por tanto su comprensión.



DISEÑO DE MAQUETA

7.1 Materiales utilizados

El proposito del trabajo de investigación es experimentar el viento sobre modelos de estructuras flexibles, tal y como se explicó en el capítulo anterior de las diferencias entre los tipos de modelos. Para este trabajo se realizó una maqueta de ensayo de las siguientes dimensiones y materiales.

- Base: Madera conglomerada de 1 cm de espesor, largo de 50 cm. por ancho de 40 cm. Lijada y pintada de color blanco.

- Mástiles: Madera circular de balsa de 8 mm de diametro. Cada uno de los mástiles mide 20 cm de altura. Por el extremo donde el mástil sera articulado a la base de madera se colocó un clavo para lograr el movimiento simulado a la realidad. (Figura 67)

- Argollas metálicas: Estas se utilizaron en los extremos de los mástiles superiores para el enganche de la argolla contenedora de la membrana. También se utilizaron en la base de madera para la sujeción de otro punto de la membrana. Estos tienen un diámetro de 1.5 cm. (Figura 69)

- Membrana: Se utilizo textil tipo Lycra para la simulación de la membrana la cual fue cosida en sus extremos para evitar hilos sueltos. Se confeccionaron diferentes tamaños de membrana de acuerdo al nivel de tensión necesario para el correcto funcionamiento de el conjunto. El tamaño utilizado para la maqueta fue de 15 x 15 cm.

- Argollas de sujeción: Se utilizaron argollas para llaveros de 1.5 cm de diametro para la articulación entre la membrana y el mástil. Por el lado de la membrana se cosio la esquina de la tela a ella para mas seguridad de fijación. (Figura 68)

- Cable tensado: Para simular el cable de acero tensado se utilizó cordel de fibras naturales de 3 mm de espesor. Este sujeta el extremo del mástil y lo sujeta a la base de madera amarrado.(Figura 70)



Figura 67



Figura 69

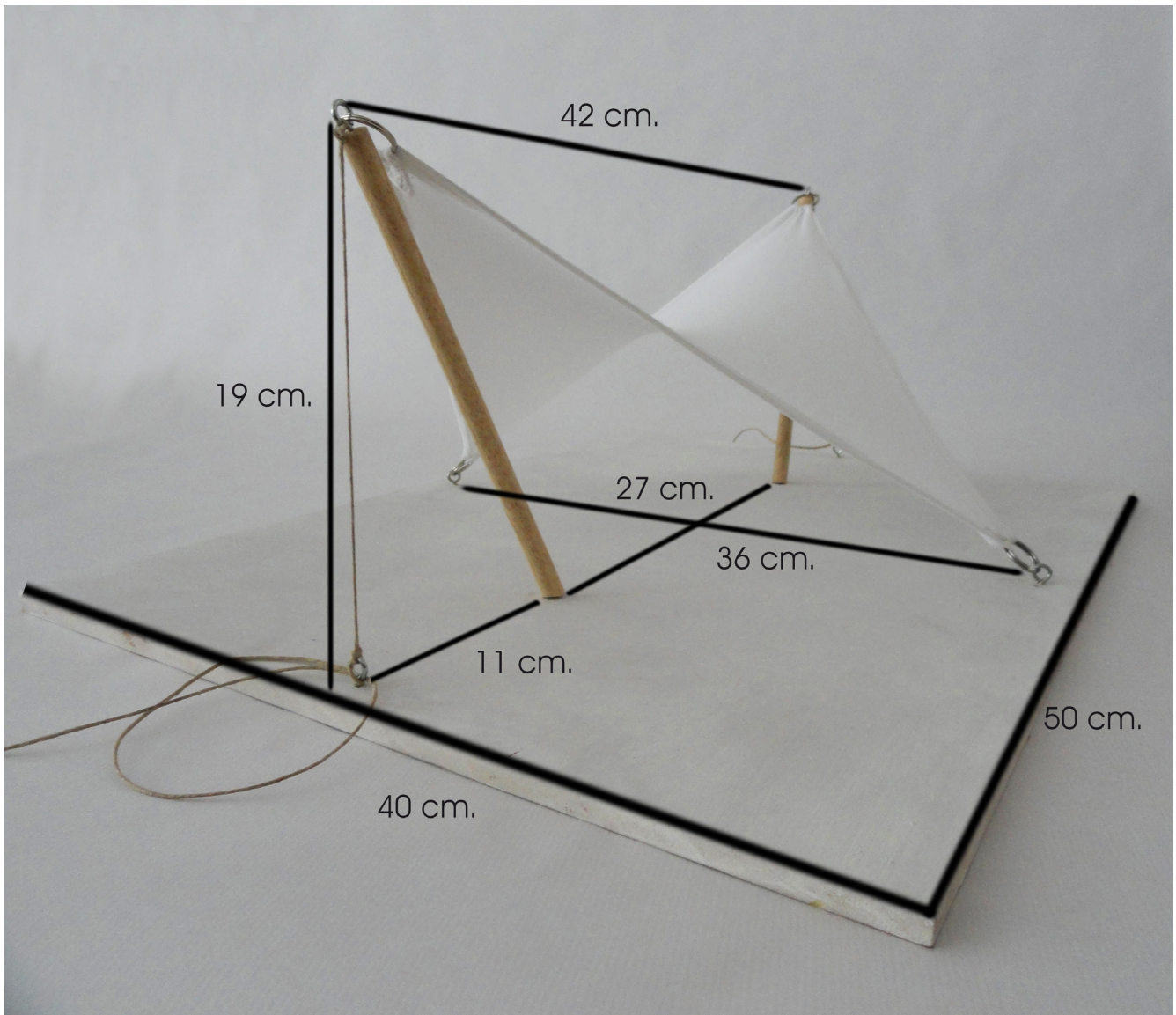


Figura 68



Figura 70

Las escalas típicas para realizar los ensayos depende del tipo de objeto a analizar. Mientras que para trabajos urbanos las escalas van desde 1/2000 y 1/5000 a diferencia de modelos de construcción de edificios o elementos arquitectónicos más pequeños la escala va entre 1/500 y 1/75 típicamente y por medio de la instalación de transductores las presiones medias y se miden. (Gomez,2013)



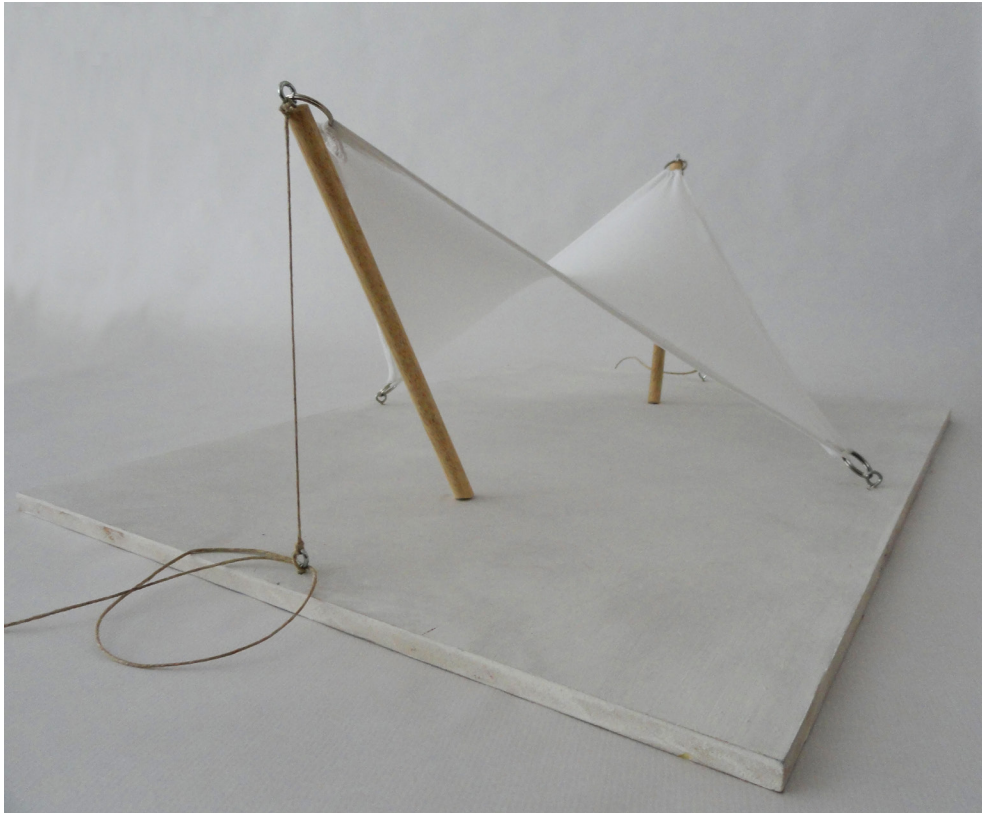


Figura 71



Figura 72



Figura 73

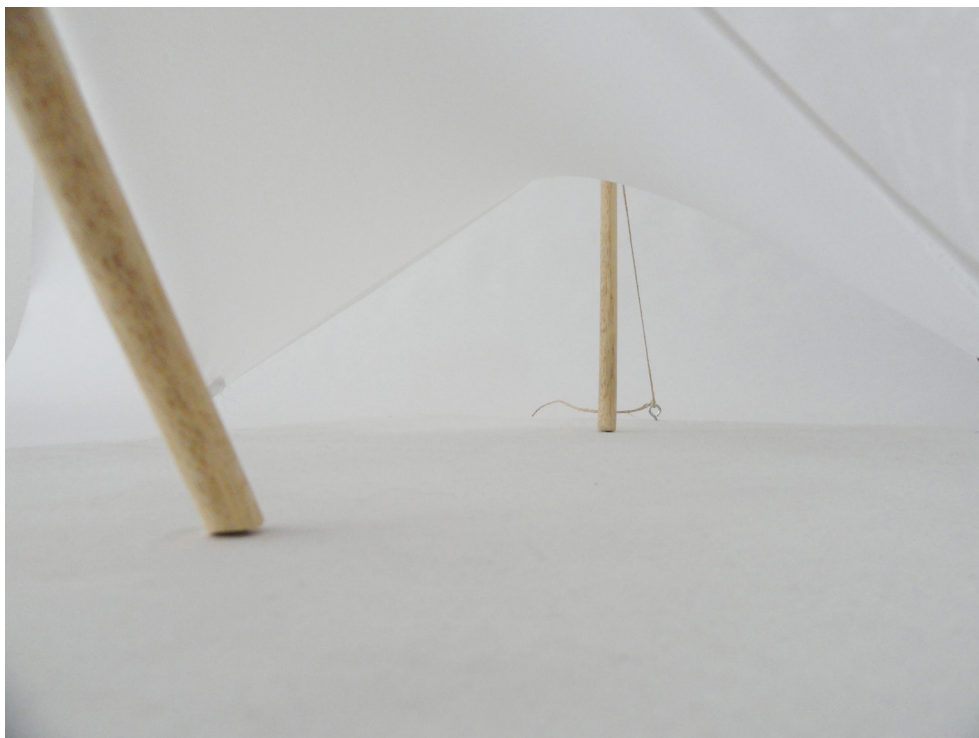


Figura 74

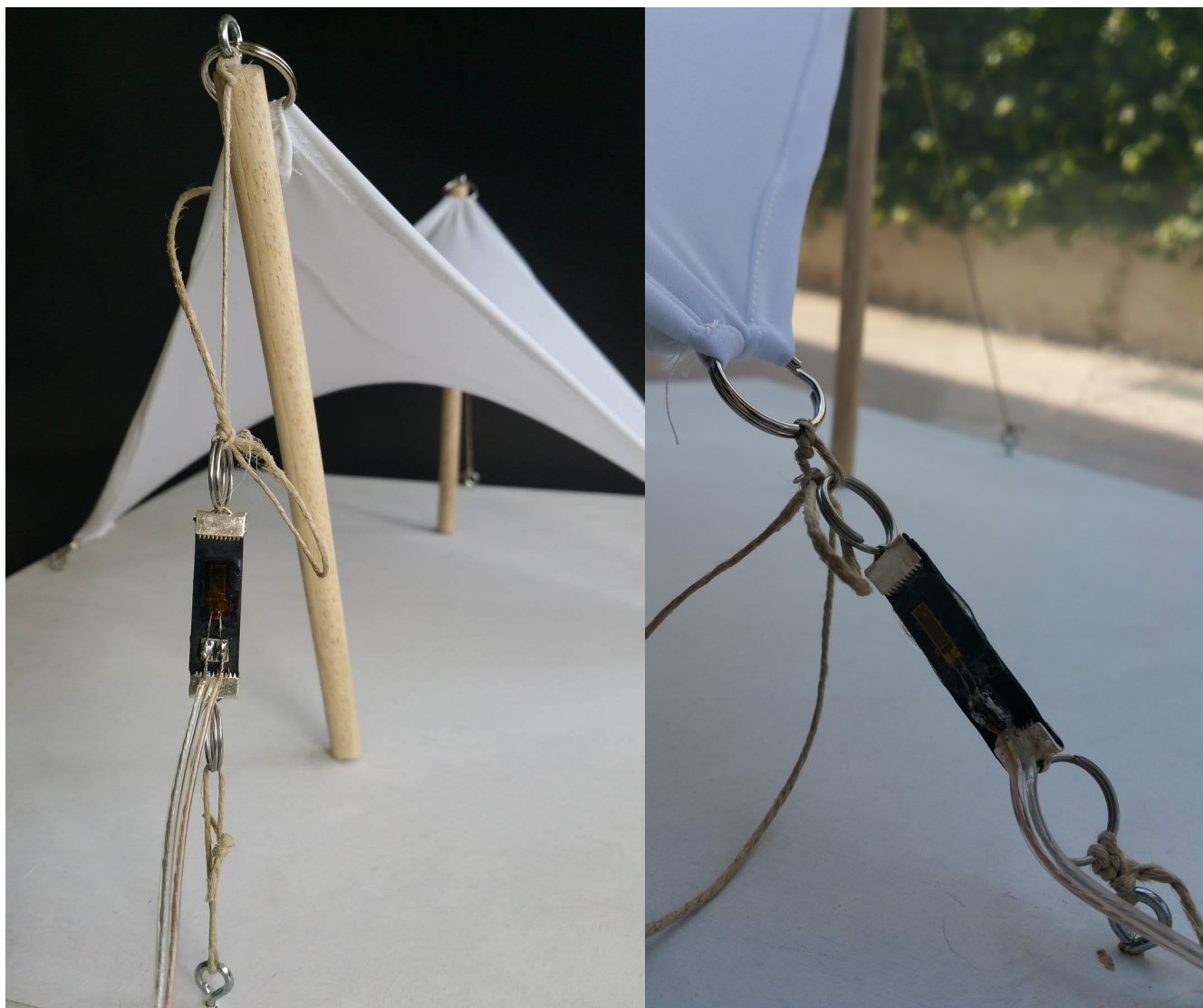
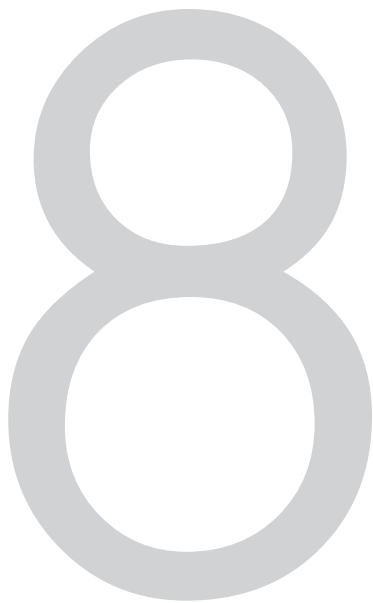


Figura 75



ESTRUCTURA DEL EQUIPO DE MEDICIÓN PROPUESTO

“Se trata de una tarjeta de circuito impreso que acepta el amplificador para una galga extensométrica y los componentes correspondientes lo que le convierte en un decodificador amplificador para sensores del tipo de puente de resistencias. En la tarjeta de circuito impreso están marcadas las posiciones de todos los componentes; los puentes de enlace están indicados por trazos continuos (Hoja de instrucción RS).”

Es decir; Existen dos circuitos; está el amplificador de instrumentación, y el segundo, es una placa Arduino y su función es la comunicación con el pc. y es convertir la señal analógica en digital para transmitirla al pc (Montaño, 2016).

Se transmiten las señales por el cable usb; es decir la placa arduino se comunica con el PC a través del usb y también se alimenta de la corriente que tiene el puerto usb.

La fuente de alimentación produce una señal de voltaje que alimenta el circuito amplificador las señales son estándar. Los siguientes cables instalados conectan ambos circuitos con los valores siguientes:

El amarillo : +15 volts

Negro : tierra

Azul : - 15 volts (Montaño, 2016).

Estas tres señales de alimentación vienen de la fuente de alimentación de energía. Este circuito a su vez tiene conectado el puente Wheatstone de galgas. Este circuito es utilizado cuando 4 galgas forman una conexión entre ellas y a esto se le llama puente, como se muestra en la figura 76. Su funcionamiento es el siguiente; las galgas extensométricas están conectadas en un circuito de puente que permite el uso del ratio de poisons entre la expansión relativa en la dirección que la fuerza se le aplique y la contracción relativa perpendicular a la fuerza para incrementar la efectividad de la galga y su sensibilidad (RS Data Sheets, 2002).

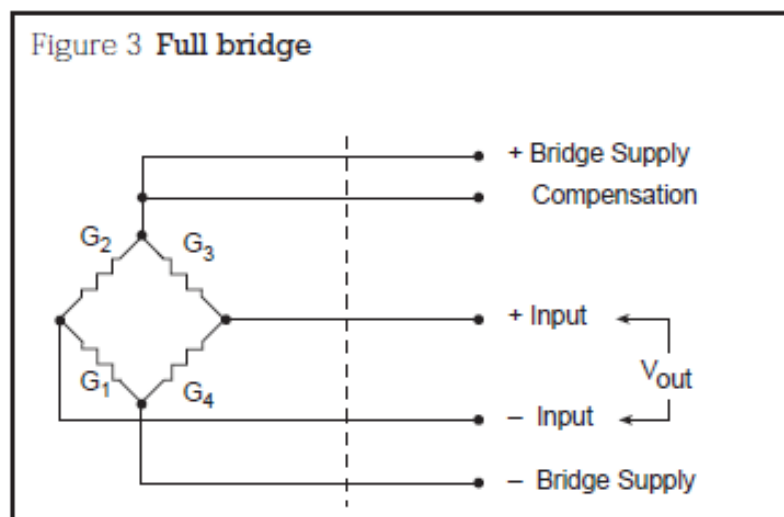


Figura 76

El decir que funcionan como puente significa que están equilibrados los cuatro elementos que se comportan como un circuito cerrado, y en la que una de sus resistencias es la que registra las medidas. Posteriormente en la salida elegida para introducir el sensor se le coloca un amplificador.

El circuito amplificador, (figura 77) depende de todos los valores de resistencias y condensadores, existen dos resistencias variables (potenciomentros) que permiten cambiar el offset de la salida analógica del circuito, eso se traduce en el número resultante. La primera resistencia V_1 es para la ganancia y la resistencia V_r2 es para dictar la cifra de inicio de marcación (offset) Esta ganancia está programada en 1000. Esta se puede ajustar a otros valores.

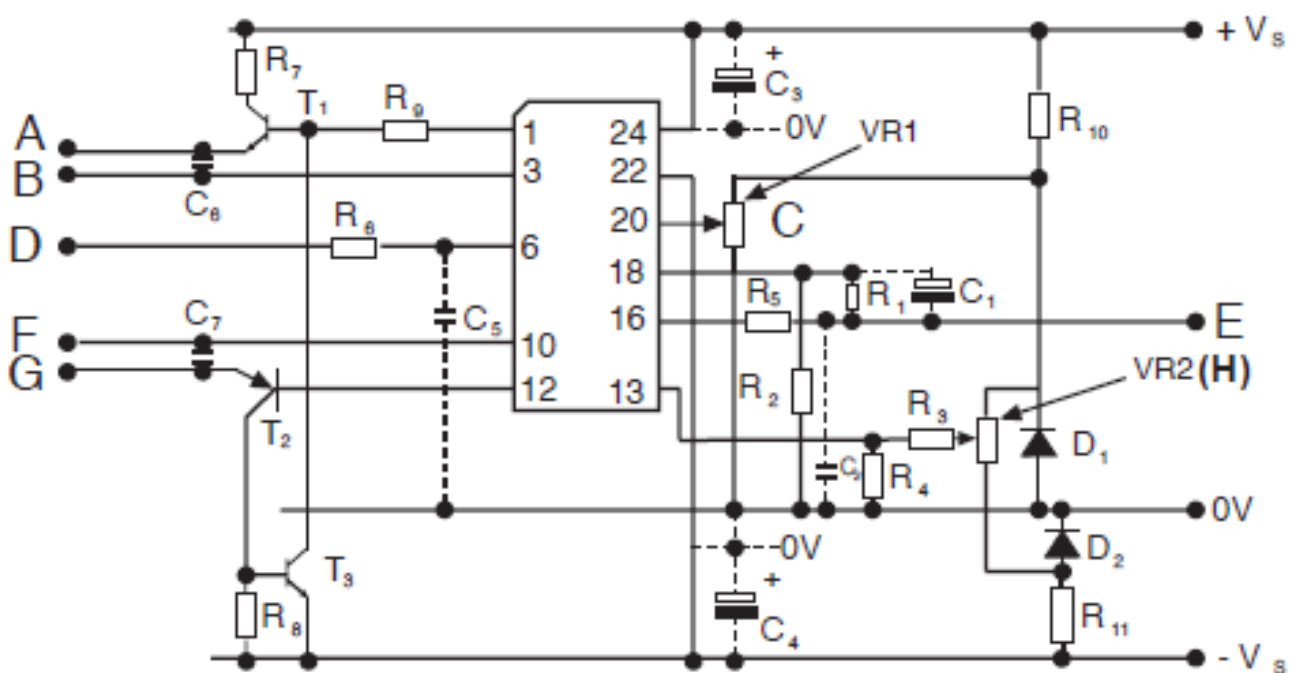


Figura 77

Esquema del circuito:

- A. Alimentación positiva del puente
- B. Compensación
- C. Alimentación fija del puente
- D. Entrada positiva
- E. Salida
- F. Entrada negativa
- G. Alimentación negativa del puente
- H. Cero ajustado

En general el circuito actúa como captador de las señales que transmite la galga gracias a los esfuerzos producidos por el viento, este movimiento es registrado por el sensor, amplificado y traducido a una unidad numérica para poder interpretarlo.

4 galgas que actúan como puente

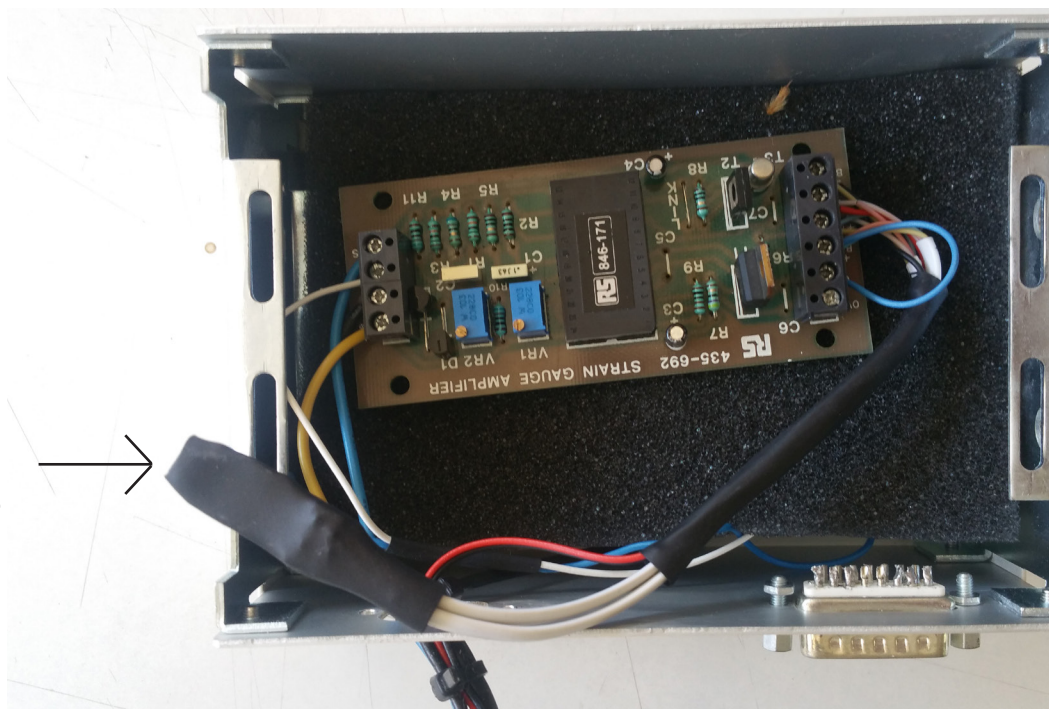


Figura 78

Entrada de puente de Wheatstone a amplificador

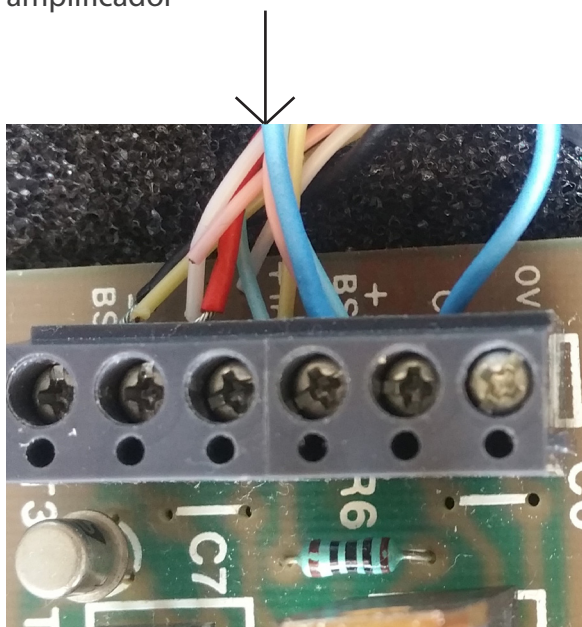


Figura 79

Salida de señal de amplificador a circuito Arduino

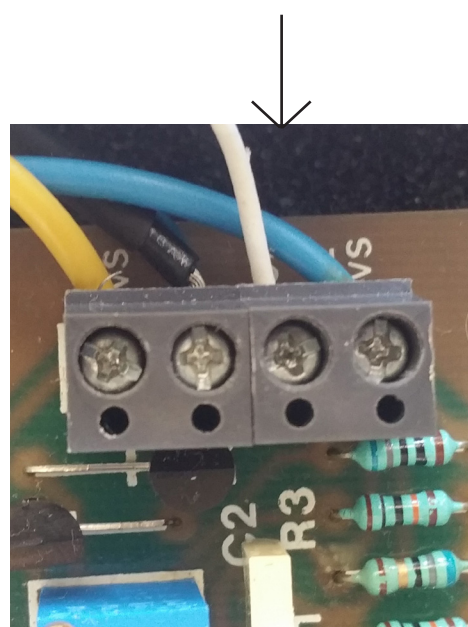


Figura 80

En cuanto el amplificador registra la señales obtenidas por el puente Wheatstone, estas son transmitidas por los dos cables (azul celeste y blanco como indican en la figura 81) y conectadas al circuito Arduino. La función de éste es transmitir la información en forma de unidades numéricas al portátil donde se encuentra instalado el software de lectura. Esta señal es transmitida a través del cable puerto USB conectado al circuito.

Salida de información a portátil

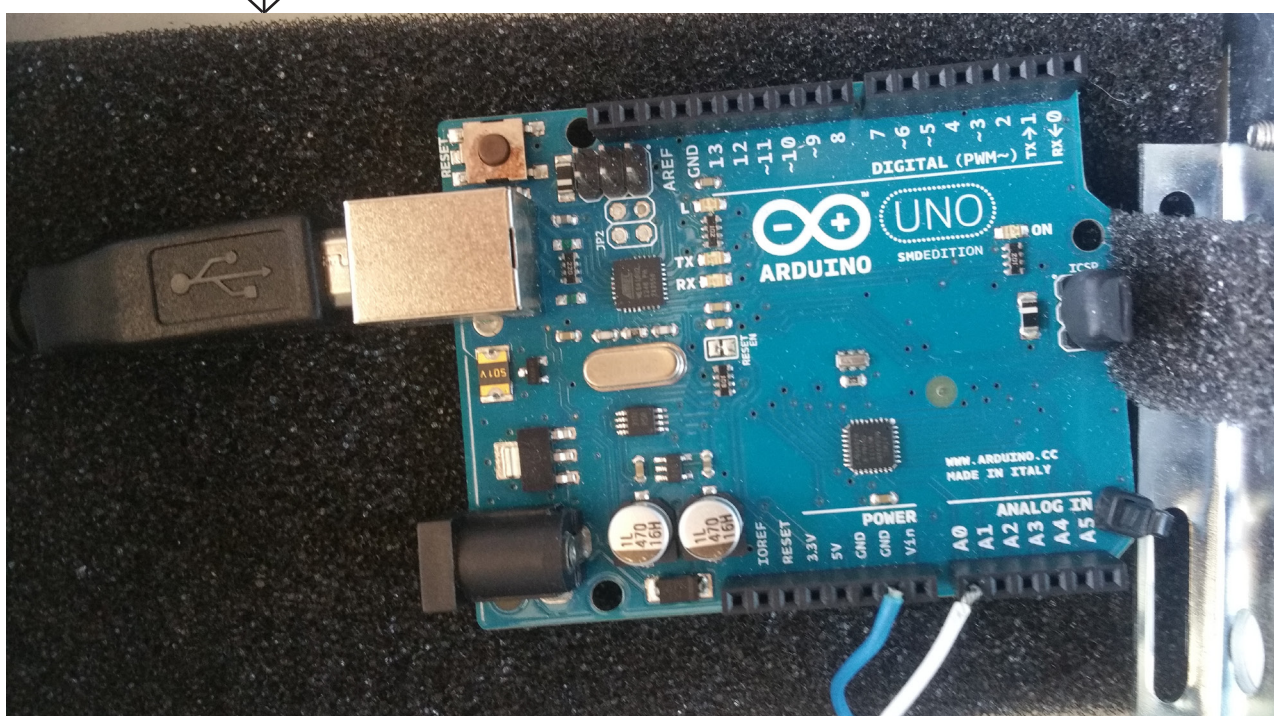


Figura 81

Entrada de amplificador a circuito Arduino



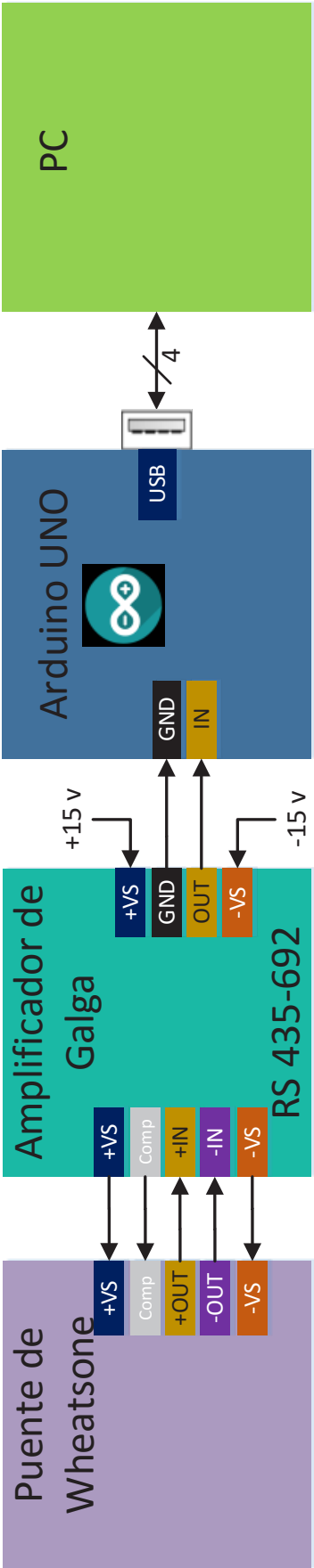


Figura 82

8.1 Componentes

1.0 Galgas extensiométricas

Las galgas extensiométricas se usan para medir fuerzas, presiones, deformaciones, en el sector de la industria de la construcción así como también en la robótica. Básicamente las galgas son un elemento resistivo, es decir, su resistencia se obtiene de su resistividad multiplicada por su longitud partida por su sección. Con este principio cualquiera cambio que se produzca reflejara cambios en la resistencia.

$$R = \rho \cdot L / A$$

Las galgas de hilo y lámina son las que presentan valores mas pequenos, aunque son las que presentan mejores valores de linealidad, tensión de ruptura y trabajo a fatiga. En este tipo de galga la temperatura influye poco comparada con los demás tipos de galgas. t

	Hilo y lámina	Semiconductor	Capa gruesa
Factor de galga	2	50-60	10-20
Resistencia	120, 350, 600, 1000 Ω	Más de 500 Ω	Más de 10 k Ω
Linealidad	$\pm 0.1\%$ hasta 1000 $\mu\epsilon$ y 1% hasta 10000 $\mu\epsilon$	$\pm 1\%$ hasta 1000 $\mu\epsilon$	$\pm 1\%$ hasta 1000 $\mu\epsilon$
T. de ruptura	25000 $\mu\epsilon$	5000 $\mu\epsilon$	5000 $\mu\epsilon$
Fatiga	10^7 ciclos	10^6 ciclos	10^6 ciclos
Efecto Temp.	Medio	Alto	Medio

Figura 83

“Las galgas extensiométricas son resistencias variables por la deformación” (Casado, 2010).

Su ecuación básica de la gálga consiste en la resistencia nominal, multiplicada por 1 + la constante K que es la constante de la gálga, multiplicada por la deformación (variación de longitud normalizada) producida por la variación de un esfuerzo mecánico. La relación entre la tensión mecánica que es obtenida de la fuerza partida por la sección obteniendo la constante de rigidez mecánica y la ecuación de la resistencia de las gálgas nos pueden dar una medida de esta tensión mecánica.

$$T = F / A = E \quad + \quad R_g = R_0 (1 + K \cdot E) = \text{TENSIÓN MECÁNICA}$$

Es muy importante considerar que las lecturas que se obtendrán de las galgas directamente, el posicionamiento de ésta sobre la superficie de la muestra esta ligada completamente, por tanto la deformación del material será lo que la galga medirá. Los esfuerzos se medirán en la dirección X de la galga. También se debe tomar en cuenta los esfuerzos perpendiculares que se registren en la galga ya que pueden alterar la lectura de ésta. Este fenómeno se denomina sensibilidad transversal.



Figura 84

Las galgas elegidas para el proyecto fueron compradas de la compañía de productos electrónicos, OMEGA, la siguiente tabla muestra el tipo de galga y las propiedades técnica que tienen.





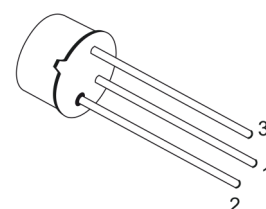
	MODELO NUM. Paquete de 10	RESISTENCIA NOM. (Ω)	DIMENSIONES en mm (pulgadas) [†]				T MÁX.* (Vrms)	TERMINACIÓN	COMP. TEMP.	ZAPATA TERMINAL	
			REJILLA		CONDUCTOR						
			A	B	C	D					
<div>Se muestra en su tamaño real: 11,4 mm</div> <div></div> <div>↔</div> <div>No se muestran los conductores</div>	SGD-6/120-LY11	120	6,50 (0,256)	3,10 (0,122)	11,40 (0,449)	5,10 (0,201)	Patrón lineal de tamaño mediano de 120 Ω	9	Conductores planos	ST	BTP-4
	SGD-6/120-LY13	120						12	Conductores planos	AL	
	SGD-6/120-LY41	120						9	Zapatas soldadas	ST	
	SGD-6/120-LY43	120						12	Zapatas soldadas	AL	
<div>Se muestra en su tamaño real: 11,4 mm</div> <div></div> <div>↔</div> <div>No se muestran los conductores</div>	SGD-7/350-LY11	350	6,50 (0,256)	3,10 (0,122)	11,40 (0,449)	5,10 (0,201)	Patrón lineal de pequeño tamaño de 120 Ω	15	Conductores planos	ST	BTP-5
	SGD-7/350-LY13	350						20	Conductores planos	AL	
	SGD-7/350-LY41	350						15	Zapatas soldadas	ST	
	SGD-7/350-LY43	350						20	Zapatas soldadas	AL	
<div>Se muestra en su tamaño real: 11,8 mm</div> <div></div> <div>↔</div> <div>No se muestran los conductores</div>	SGD-7/1000-LY11	1000	7,00 (0,276)	3,60 (0,142)	11,80 (0,465)	5,60 (0,220)	Tamaño mediano, mayor resistencia, menor generación de calor de 1000 Ω	27	Conductores planos	ST	BTP-5
	SGD-7/1000-LY13	1000						37	Conductores planos	AL	
	SGD-7/1000-LY41	1000						27	Zapatas soldadas	ST	
	SGD-7/1000-LY43	1000						37	Zapatas soldadas	AL	
<div>Se muestra en su tamaño real: 17,7 mm</div> <div></div> <div>↔</div> <div>No se muestran los conductores</div>	SGD-10/120-LY11	120	10,00 (0,394)	4,90 (0,193)	17,70 (0,697)	8,00 (0,315)	Patrón lineal de gran tamaño de 120 Ω	14	Conductores planos	ST	BTP-5
	SGD-10/120-LY13	120						19	Conductores planos	A	
	SGD-10/120-LY41	120						14	Zapatas soldadas	ST	
	SGD-10/120-LY43	120						19	Zapatas soldadas	AL	

Figura 85

La disposición de las galgas en el puente Wheatstone es de la siguiente manera; Se incorporaron al hardware 3 galgas pegadas a un material metálico rígido, éstas actúan como galgas pasivas que actúan de manera de control de la temperatura del comportamiento de las 4 galgas, mientras que la 4ta galga es la que esta posicionada en la muestra de caucho. Esta disposición de galgas es una variación del modo del puente de 4 galgas. La sensibilidad de la galga será constante gracias al movimiento de la galga activa.

2.0 Amplificador de sonido

Se utilizaron elementos aplicadores de silicona planos puestos en el circuito para controlar el circuito de los puentes de galgas, estos procesan las señales bajas de ruido del circuito de medición y lo amplifican para su lectura.



TO-18

Figura 86

3.0 Transistores

Se utilizaron transistores de material plástico, de intensidad media. Estos elementos son utilizados como aplicadores de audio y controladores dentro de circuitos.

1.5 Transistores de potencia, NPC Silicon 45, 60 , 80 V, 12.5 W ,
Modelo BD 135-D

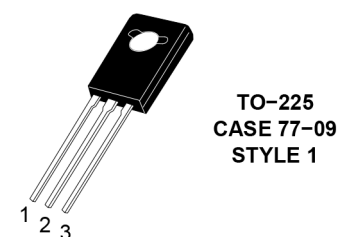


Figura 87

3.0 Amplificador operacional



Low Power, High Precision Operational Amplifier

OP-97

FEATURES

- Low Supply Current 600 μ A Max
- OP-07 Type Performance
 - Offset Voltage 20 μ V Max
 - Offset Voltage Drift 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C Max
- Very Low Bias Current
 - 25 $^{\circ}$ C 100pA Max
 - 55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C 250pA Max
- High Common-Mode Rejection 114dB Min
- Extended Industrial Temp. Range -40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C
- Available in Die Form

ORDERING INFORMATION [†]

PACKAGE			OPERATING TEMPERATURE RANGE
TO-99	CERDIP	PLASTIC	
OP97AJ*	OP97AZ*	-	MIL
OP97EJ	OP97EZ	OP97EP	XIND
OP97FJ	OP97FZ	OP97FP	XIND
-	-	OP97FS ^{††}	XIND

* For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for 883 data sheet.

[†] Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in CerDIP, plastic DIP, and TO-can packages.

^{††} For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

GENERAL DESCRIPTION

The OP-97 is a low-power alternative to the industry-standard OP-07 precision amplifier. The OP-97 maintains the standards of performance set by the OP-07 while utilizing only 600 μ A supply current, less than 1/6 that of an OP-07. Offset voltage is an ultra-low 25 μ V, and drift over temperature is below 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C. External offset trimming is not required in the majority of circuits.

PIN CONNECTIONS

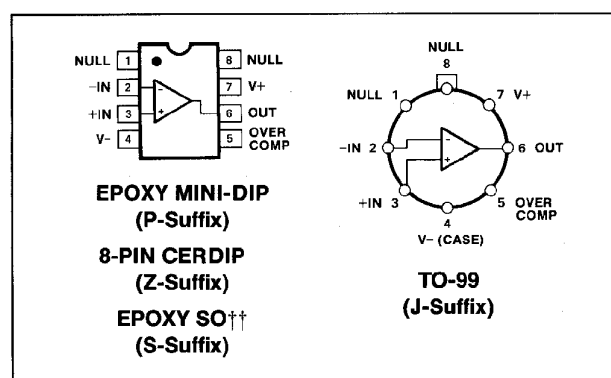


Figura 88

4.0 Semiconductores

Modelo 1N827

Se encarga este elemento de registrar las unidades de voltaje producidas por las diferencias de tensiones en la galga.

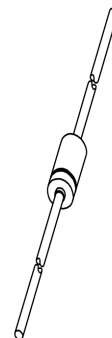


Figura 89

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_{ref}	reference voltage	$I_Z = 7.5 \text{ mA}$	5.89	6.20	6.51	V
$ \Delta V_{ref} $	reference voltage excursion	$I_Z = 7.5 \text{ mA}$; test points for T_{amb} : -55 ; $+25$; $+75$; $+100 \text{ }^\circ\text{C}$; see Fig.2; notes 1 and 2	—	—	96	mV
	1N821; 1N821A				48	mV
	1N823; 1N823A				19	mV
	1N825; 1N825A				9	mV
	1N827; 1N827A				5	mV
$ S_Z $	temperature coefficient	$I_Z = 7.5 \text{ mA}$; see Fig.3; notes 1 and 2	—	—	0.01	%/K
	1N821; 1N821A				0.005	%/K
	1N823; 1N823A				0.002	%/K
	1N825; 1N825A				0.001	%/K
	1N827; 1N827A				0.0005	%/K
r_{dif}	differential resistance	$I_Z = 7.5 \text{ mA}$; see Fig.4	—	—	15	Ω
	1N821 to 1N829				10	Ω

Figura 90



DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

De acuerdo al orden de estudio del comportamiento estructural de las construcciones tensadas, sabemos que la interacción entre las cargas externas y la estructura constituye el análisis dinámico del proyecto. Para las estructuras de membranas este factor está relacionado con la influencia del viento. En la presencia de dichas condiciones es posible que si su análisis no se realiza correctamente pueda llevar a deformaciones, roturas y en sus peores casos al colapso. El uso de diferentes métodos en los últimos años para recrear su comportamiento ha permitido el constante desarrollo de las estructuras tensadas.

Dichos proyectos con particularidades o características especiales deben ser evaluados y analizados en un túnel de viento para poder obtener datos más fiables. Originalmente los túneles de viento eran utilizados solamente en el campo de la aeronáutica como previamente se ha mencionado más sin embargo para este tipo de estudios es una herramienta valiosa.

A través del uso de modelos rígidos equipados con sensores de presión en los cuales la fuerza del viento distribuida en la superficie rígida podía ser evaluada individualmente, lo que reproduce a escala las condiciones de carga reales. Esta aproximación intenta obtener la distribución de fuerza del viento bajo parámetros establecidos que son necesarios para la fiabilidad de la prueba. Estas pruebas no estudian las posibles deformaciones de la superficie bajo la influencia del viento y tampoco los efectos producidos con la distribución del viento en la superficie. Son necesarias más investigaciones que reproduzcan los efectos dinámicos de interacción entre la presión del viento y las superficies flexibles en las que la reproducción a escala tanto de las condiciones como los materiales elásticos in situ reproduzcan los efectos.

Este trabajo de investigación pretende analizar y crear un sistema metodológico de trabajo para lograr el análisis del viento en las tenso estructuras. El estudio se divide en cuatro fases; inicia desde el diseño del hardware y software necesario así como la creación e instalación de sensores y demás materiales. La segunda fase es la calibración y preparación de los datos confiables a utilizar para la comparación de las pruebas, y por último, la tercera fase que es la de la realización y análisis de las pruebas en el túnel de viento y por último, la comparativa de resultados obtenidos con un modelo de Wintess así como la comparativa del movimiento gráfico entre este modelo y el real obtenido de las pruebas.

La intención a probar con una maqueta de modelo flexible y utilizando los materiales más parecidos en lo posible al comportamiento real, nos brindará una idea más apegada a la realidad. La colocación de las gálgas extensiométricas en el punto intermedio donde se localiza el mástil articulado y también en el punto de sujeción de la membrana a la base, creemos que bajo la acción del viento dará lecturas sobre las reacciones ejercidas en este elemento de sujeción. A diferencia de pruebas que se han realizado con modelos rígidos, éste trabajo proporcionará una metodología estratégica para el análisis de una maqueta flexible dentro de un túnel de viento.

10

PREPARACIÓN DE MUESTRAS

La lectura obtenida de las gálgas representará la acción de fuerza ejercida del viento proporcionado por un ventilador industrial el cual su velocidad promedio es de 40 km/hr. Una vez probada su efectividad, es posible cambiar de dirección y ángulos de la maqueta para poder observar los diferentes efectos que se ocasionan en ella.

Las muestras realizadas para el desarrollo del el sensor con una gálga extensiométrica fue realizado en 3 diferentes superficies. Estas con características parecidas solamente con la variación del grosor entre cada una de ellas.

El diseño de esta muestra requería de una forma rectangular y de tamaño pequeño para poder posicionarlo entre la fijación a la base de la maqueta y el cable tensor que sujeta la membrana y el mástil. El material del que están hechas las muestras es de caucho de color negro con grosores de 2 mm., 3 mm y 4 mm. Se pueden observar estos grosores en las figuras 92,93 y 94.

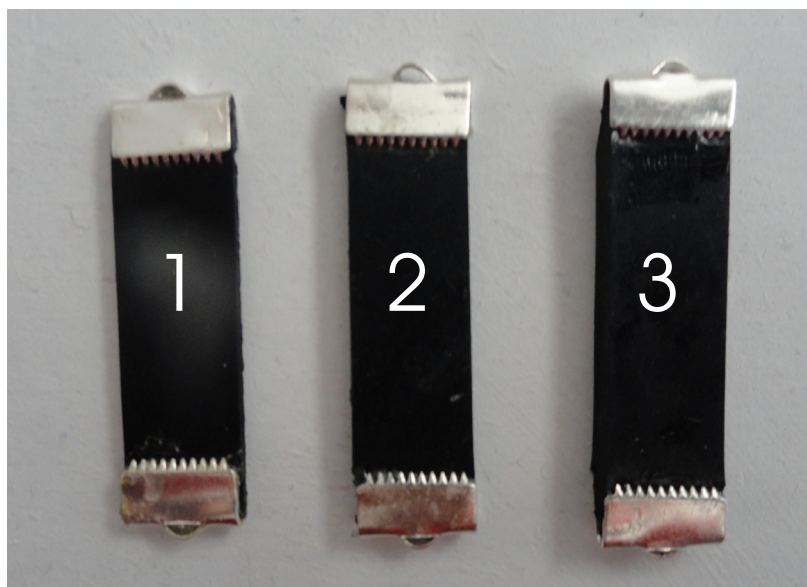


Figura 91

Las muestras miden aproximadamente 7 cm por 1 cm de ancho, la sujeción por los extremos fue realizado con piezas de acero utilizadas para bisutería. Estas en su interior fueron encoladas para mejorar la adhesión de contacto entre los dos materiales.

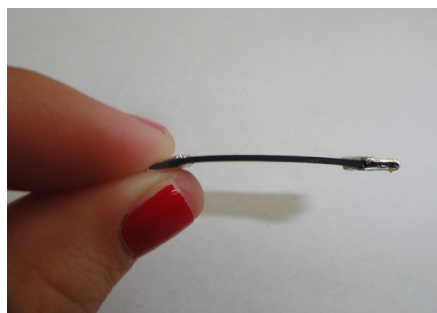


Figura 92

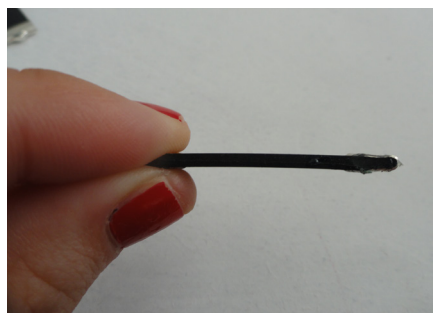


Figura 93

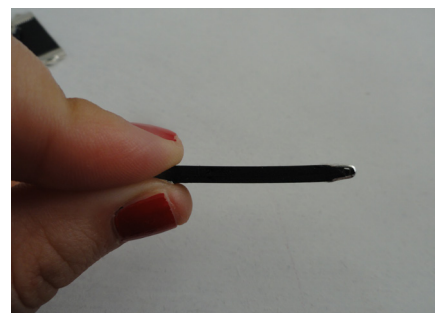


Figura 94

Sensor # 1, espesor 2 mm.

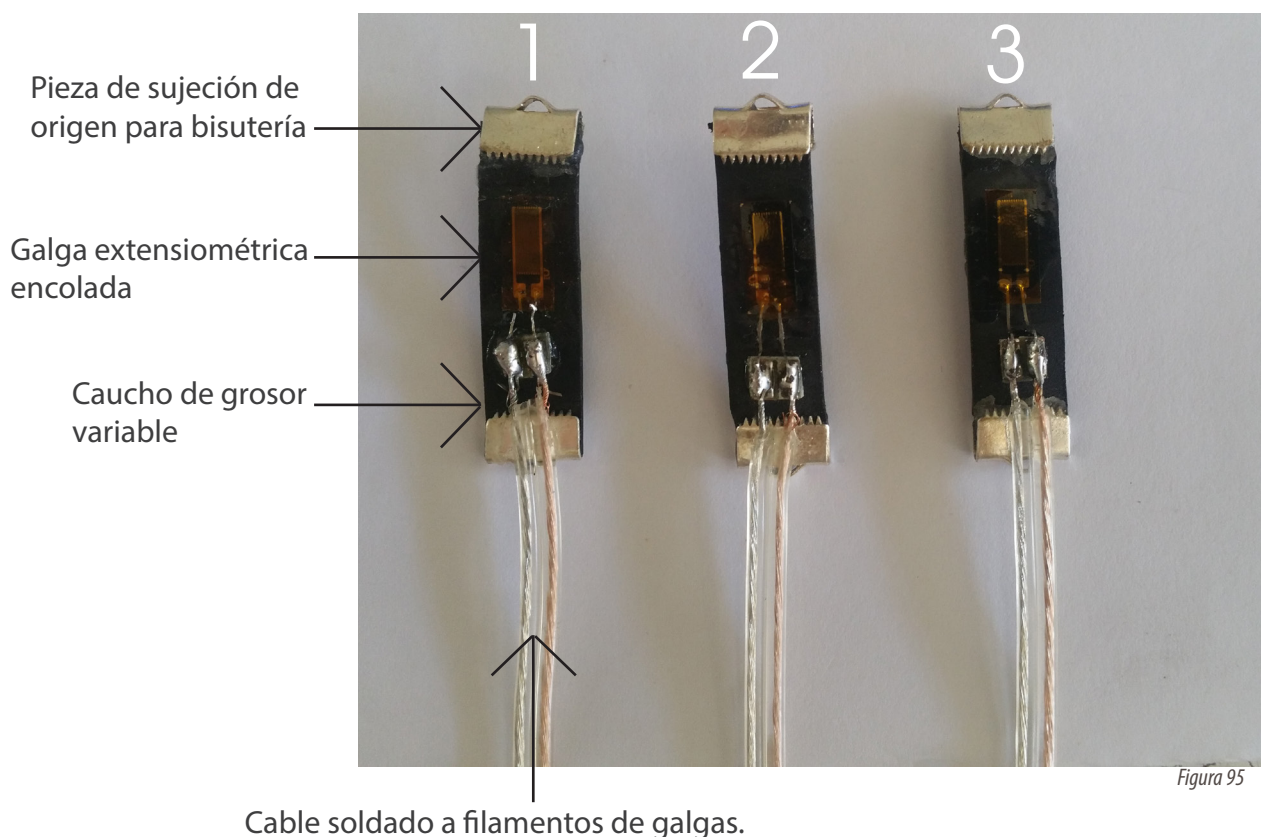
Sensor #2, espesor 3 mm.

Sensor #3, espesor 4 mm.

Una vez que se tuvieron las 3 muestras de grosores diferentes se procedió a la instalación de la gálga extensiométrica sobre ellas. Para lograr esto se utilizó cola epóica que garantizaba el pegado del sensor a la superficie de la muestra de caucho. Previamente se lijó para una mejor adherencia del pegamento y de la gálga.

En cuanto la galga estuviera adherida perfectamente al caucho el siguiente paso era soldar los filamentos metálicos con los que viene incluido a un cable que sería el que se conectaría al hardware. Este también era necesario soldarle los extremos a piezas para su correcta conexión al equipo.

Ya que se realizó la instalación de las galgas extensiométricas a los cauchos y éstos tuvieron también sus cables soldados al sensor en un extremo y al otro la conexión se procedió a realizar la calibración de las muestras.



10.2 Calibración y configuración de medición empleadas

El modo de funcionamiento de las galgas extensiométricas en conjunto con el equipo diseñado para su lectura fue ensayado para poder garantizar la fiabilidad de sus lecturas. Este proceso se realizó con la referencia de 1 kg. y poder ver los resultados que daba en las tres muestras después de intentarlo varias veces. Posteriormente se probó este mismo método reduciendo la carga gradualmente 250 gr. hasta 0.



Figura 96

Para la realización de las pruebas se montó un escenario casero. El uso de un palo circular de madera fue utilizado para colgar de ahí las muestras que a su vez tenían sujeto en el extremo inferior el peso añadido. El uso de arroz fue un material fácil y maniobrable para la realización de las pruebas.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente; Primero se medía la lectura de la muestra en reposo, es decir sin ningún peso añadido. Ya que el programa registraba diferencias entre cada muestra se obtuvieron diferentes cifras para los diferentes grosores y es a partir de ese número es cuando se toman como referencia los demás datos.

En el capítulo de los anexos se encuentra una bitácora de las pruebas paso a paso y de los inconvenientes que se fueron presentados durante el período de experimentación.

Se inició con el sensor #1, el de 2 mm. Los resultados que se estaban obteniendo eran buenos, como era de esperarse, al aumentar la carga, el voltaje obtenido iba disminuyendo. Tal y como podemos ver en la bitácora (ubicada en anexos). Sin embargo, después de varias pruebas realizadas la muestra rompió de uno de sus extremos debido al peso de 1 kilogramo.

Otro de las desventajas descubiertas al realizar el experimento fue que después de varias veces de añadir el peso el caucho no recobraba la elasticidad inicial. Poco a poco fue perdiendola, nunca hasta el punto de rotura del caucho más sin embargo comprometió la fiabilidad de los resultados para el experimento principal. También experimentó una rotura de los filamentos metálicos los cuales estaban soldados al panel de soldadura de conexión entre el cable y la gálga. Debido a la gran elasticidad de material al agregarle peso, esta fué más que la distancia prevista.

Esto nos llevo a decidir que esta muestra, aunque nos arrojaba diferencias considerables en los voltajes obtenidos no podrá ser utilizada para el experimento principal por su fragilidad, tanto de la adhesión de gálga como la recuperación de elasticidad del material.



Figura 97



Figura 98



Figura 99



Figura 100



Figura 101



Figura102

La segunda fase de las pruebas de las muestras se realizaron a el #2, el de 3 mm. de espesor. Se realizaron las pruebas de la misma manera que el sensor #1. Añadiendo cargas desde 1000 gr disminuyendo de 250 gramos en adelante. Esta muestra presentó también importantes diferencias congruentes a el peso que se le añadía. Iniciando con un voltaje y este aumentando en cuanto se le agregaba mas peso.

Notamos que en todos los casos este grosor mostraba estabilidad al iniciar la prueba, es decir en reposo. Así como también presentaba la misma recuperación de elasticidad del material después de realizar las pruebas.

Esto mismo sucedió con las diferentes cargas añadidas. Observandose un patrón tanto con la carga aplicada como en reposo. Hubo algunas

variaciones, sin embargo no creemos que son significativas comparadas con las variaciones vistas en la primera prueba del sensor #1.

Posteriormente se realizaron las pruebas en el sensor #3, el de 4 mm de grosor. Esta presentaba los mismos cambios vistos en las dos pruebas anteriores, las cuales era la disminución del voltaje en cuanto se le agregaba la carga. Un factor positivo que se pudo observar fue que el material recobraba rapidamente su elasticidad debido al grosor.

Después de las pruebas el material regresaba a la cifra de inicio como cuando estaba en reposo. Aunque los datos no tenian mucha variación por el mismo factor de elasticidad del material como se pudo observar en los sensores #1 y #2.

Con las diferentes pruebas que se han realizado, (descripción detallada y datos técnicos ubicada en anexos) se concluye para esta fase que la calibración de las muestras al obtener variaciones tanto en unidades de marcación en el inicio del experimento como los resultados finales. La causa de esto puede variar en casos. El comportamiento de las galgas extensiométricas, al ser muy sensibles al movimiento, pueden ser afectadas también por la manera de instalación, su posicionamiento, la cantidad de cola aplicada, el grosor de ésta, etc. Son muchos factores que durante la realización de esta investigación estan fuera de nuestro alcance controlar, por tanto es necesario calibrar cada muestra que se utilizara para la prueba de túnel de viento antes de ser instalada en la maqueta.

De esta forma los datos que obtendremos serán fiables para las condiciones del momento, es decir, que la unidad de inicio resultante será relativa para cada prueba pero con esta unidad de inicio es posible partir el análisis. Es importante también registrar siempre la recuperación de la elasticidad del material para también asegurarnos de la fiabilidad de los resultados.



MONTAJE Y EXPERIMENTO

12.1 Preparaciones

Para realizar las pruebas en el túnel de viento fue necesario haber contemplado previamente los factores tanto de organización de software, hardware, condiciones climáticas y las del laboratorio, así como también el correcto funcionamiento de los sensores.

Para el correcto funcionamiento de los sensores, después del análisis previo de calibración se observó que es necesario este proceso siempre que se vaya a realizar un análisis en el túnel de viento con estos sensores particularmente de acuerdo a las características con las que éstos se realizaron y para el funcionamiento específico del software y hardware diseñado. El método de calibración a utilizar será el mismo explicado en el capítulo previo. Una vez que el sensor elegido esté calibrado es posible realizar las pruebas en el túnel de viento.

En cuanto a la preparación del espacio de trabajo y la correcta instalación del hardware este siempre deberá ser al exterior y conectados a la corriente todos los componentes (ventilador, portátil, máquina de lectura, y en el caso de las primeras pruebas la máquina de humo).

Para las pruebas realizadas analizando la reacción del cable tensado se utilizó una “membrana” de diferente tamaño que la de las pruebas realizadas para el análisis de la fijación directa de la membrana a la base. Esta membrana fue mas pequeña para permitir el espacio de colocación del sensor entre la base y la membrana.

Después de haber medido la velocidad del viento con un anemómetro por las diferentes zonas del túnel se observó que la velocidad promedio es de 40 km/hr en cualquier zona del tubo. A diferencia de mantener la maqueta sostenida con las manos en el centro del túnel, que podría causar diferencias en la lectura de los sensores, ésta permaneció más estable reposada en el tubo mismo recargada con el perfil metálico de soporte. Es importante mencionar que aún así es necesario por seguridad mantener las manos sobre los extremos de la base de la maqueta ya que por la velocidad del viento y si la duración de la prueba es larga, ésta puede volar fuera del túnel. (Ver videos de complicaciones en anexos)



Figura 103

12.2 Pruebas

La primera prueba se realizó sobre la maqueta fabricada con el sensor de grosor #2, (la del grosor medio). La metodología de las pruebas es la siguiente; El sensor se coloca entre la base y el cable tensionado (como antes se ha mencionado). Las pruebas también analizarán los resultados dependiendo de la posición de la maqueta en la que se coloque, básicamente tres; Sensor a 0° (Figura 104), sensor a 90° (Figura 105) y sensor a 180° (Figura 106) con respecto al viento producido.

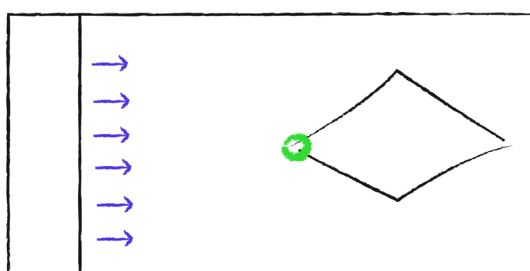


Figura 104

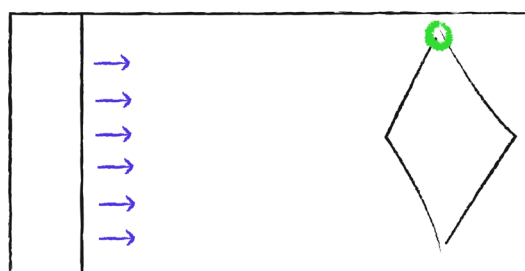


Figura 105

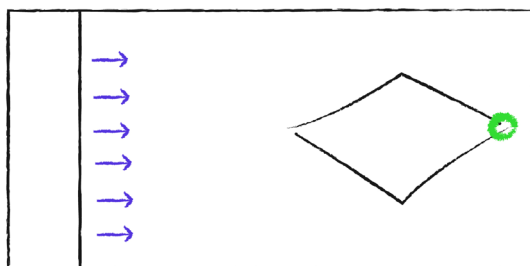


Figura 106

Una vez colocada la maqueta en el túnel se enciende el humo para la visualización del flujo del viento. EL comportamiento de la membrana de la maqueta se puede observar fácilmente y el humo ayuda a entender el comportamiento también.

En la primera prueba que se realizó se pudo observar en la primera posición de la maqueta, esta fue el sensor al frente, que el viento actúa muy fuerte sobre el cable tensionado y el mástil en primera instancia al viento, el resto de las sujeciones están en constante movimiento también aunque no tan drástico como el punto analizado.

De acuerdo a los datos registrados durante las 3 pruebas en la misma posición, el sensor registró entre 2.7 y 2.8 unidades. Comparando estas cifras con la anterior calibración de la muestra es posible ver que se encuentra cerca de los 500 gramos de carga aplicada al sensor.

SENSOR #2 01/02/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 22 Abril 2016	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
0 gramos	3.4	3.4	3.4	3.3/3.4	3.3/3.4	3.3/3.4	3.3/3.4	3.3	3.3	3.3
750 gramos	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
0 gramos	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
500 gramos	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0 gramos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
250 gramos	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
0 gramos	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Fluencia del material	3.4 a 3.3									

Figura 107

22 de Abril 2016				
SENSOR #2 MUESTRA 02/01/2016	PRUEBA TUNEL DE VIENTO CON MAQUETA SENSOR EN CABLE			
	Posición: 0°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2.7- 2.8	2.7-2.8	2.7
	Reposo con pretensión	3.1	3.2	3.1
		Inestabilidad		
	Posición: 90°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2.9	2.9	2.9
	Reposo con pretensión	3.1	3.1	3.1
	Posición: 180°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	3.4	3	3
	Reposo con pretensión	3.2	3.1	3.1
		rotura de tela		

Figura 108

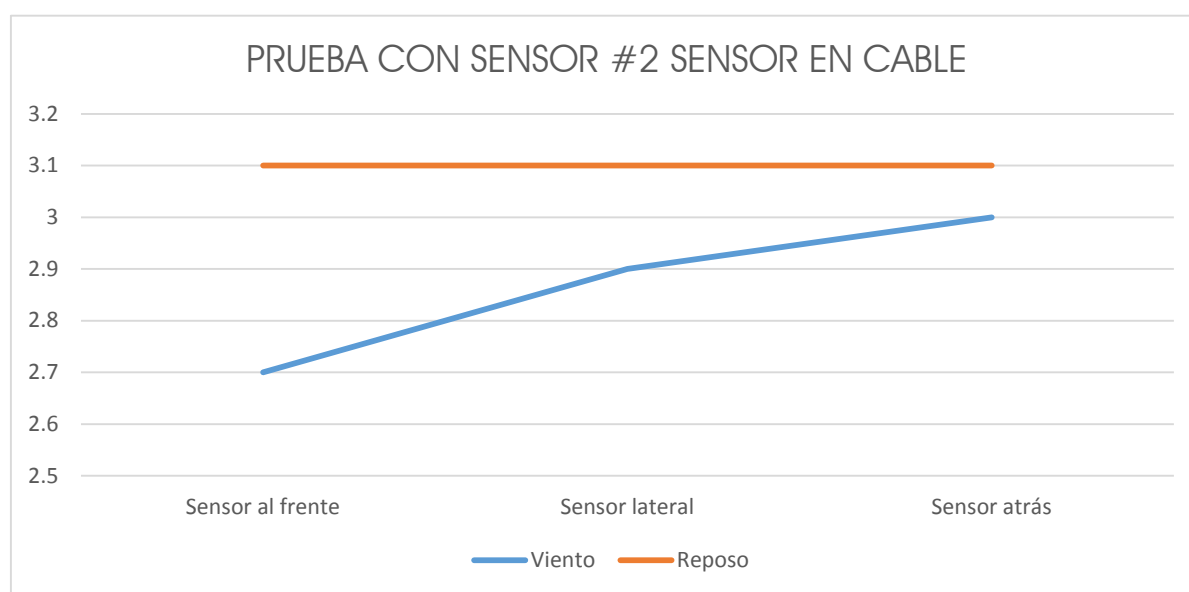


Figura 109

La segunda serie de pruebas que se realizaron a la misma maqueta. Esta vez también se colocó el sensor en el cable tensionado para poder analizar las tracciones producidas por el viento. A diferencia de la primera prueba esta se utilizaron los otros dos sensores faltantes, el #1 y el #3. Las pruebas se realizaron con la misma metodología, el colocar los sensores a 0° y 90° y posteriormente, esto manipulando la maqueta dentro de la cámara del túnel de viento.

Después de probar 3 veces cada posición, se pudo comprobar la fiabilidad de la muestra previamente calibrada como se muestra en la figura 107 y 108. Las unidades constantes nos indican la fuerza del viento ejercida sobre los cables tensores es la misma en todos los casos. Esta, como se observó en la primera prueba va disminuyendo conforme la maqueta se va cambiando de dirección. Una vez más la más fuerte es la colocación del sensor al frente directo hacia el flujo directo de aire.

En estas pruebas se pudo observar que a pesar de la diferencia de grosores de las muestras utilizadas en las 3 pruebas (grosor 1,2 y 3) el comportamiento del efecto del viento sobre el cable tensor es el mismo, la única diferencia en en las tres pruebas es la unidad de inicio del sensor y también el grado de sensibilidad del sensor dependiendo de la superficie donde ésta este colocada. Es decir, en el sensor #1 el del caucho más delgado, se puede notar una variación más grande entre las cantidades resultantes. Lo que hace más sencilla su comprensión.

Un factor realmente fascinante de observar mientras se realizaron las pruebas fue el comportamiento del mástil posterior cuando se colocó el sensor en posición 180° (Ver figura 111). Éste al estar bajo la fuerte influencia del movimiento de la membrana produciendo movimientos de succión la tensión en el cable desaparece y la unidad de lectura resulta igual que cuando el sensor está en reposo y en alguna de las pruebas llegó a ser un décimo más que en reposo, es decir, llegó a sufrir deformaciones de compresión ó de pandeo el sensor (Vea video en anexos).

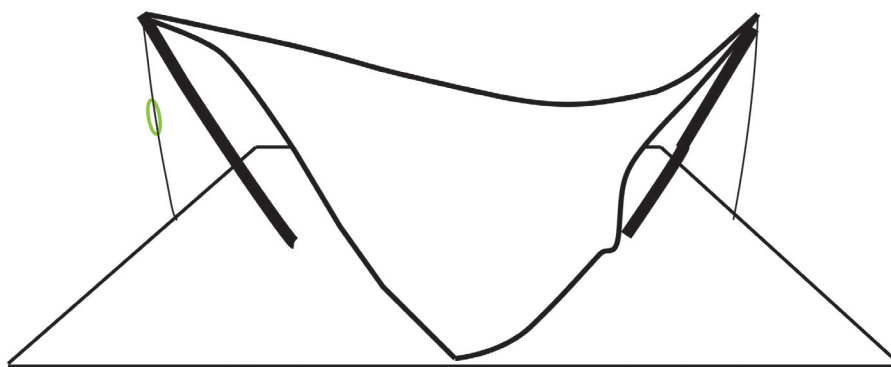


Figura 110

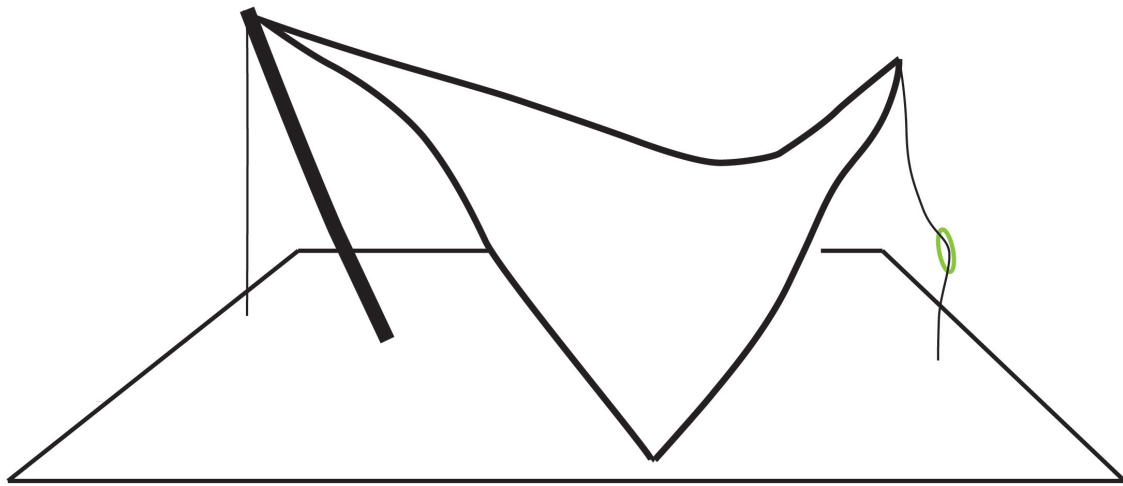


Figura 111

Imagen explicativa de movimiento de membrana bajo la acción de viento, se puede observar la fluctuación del cable en la posición 180° , por lo que en los resultados finales estos arrojan la falta de tensión completamente.

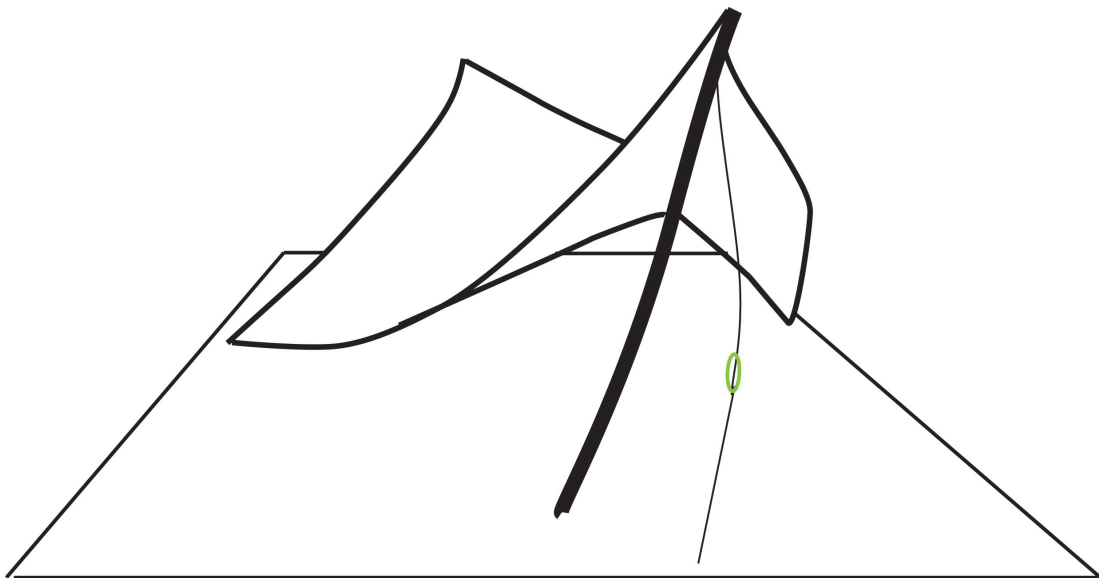


Figura 112

SENSOR #1 13/04/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 18 Mayo 2016	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
0 gramos	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
750 gramos	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
0 gramos	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
500 gramos	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
0 gramos	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
250 gramos	2.5	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
0 gramos	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Fluencia del material	2.7-2.8									

Figura 113

18 de Mayo 2016				
SENSOR #1 MUESTRA 02/01/2016	PRUEBA TUNEL DE VIENTO CON MAQUETA SENSOR EN CABLE			
	Posición: 0°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1.7	1.7	1.7
	Reposo con pretensión	2.6	2.6	2.6
	Posición: 90°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1.9	1.9	1.9
	Reposo con pretensión	2.6	2.6	2.7
	Posición: 180°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2	2.7	2.7
	Reposo con pretensión	2.6	2.6	2.7

Figura 114

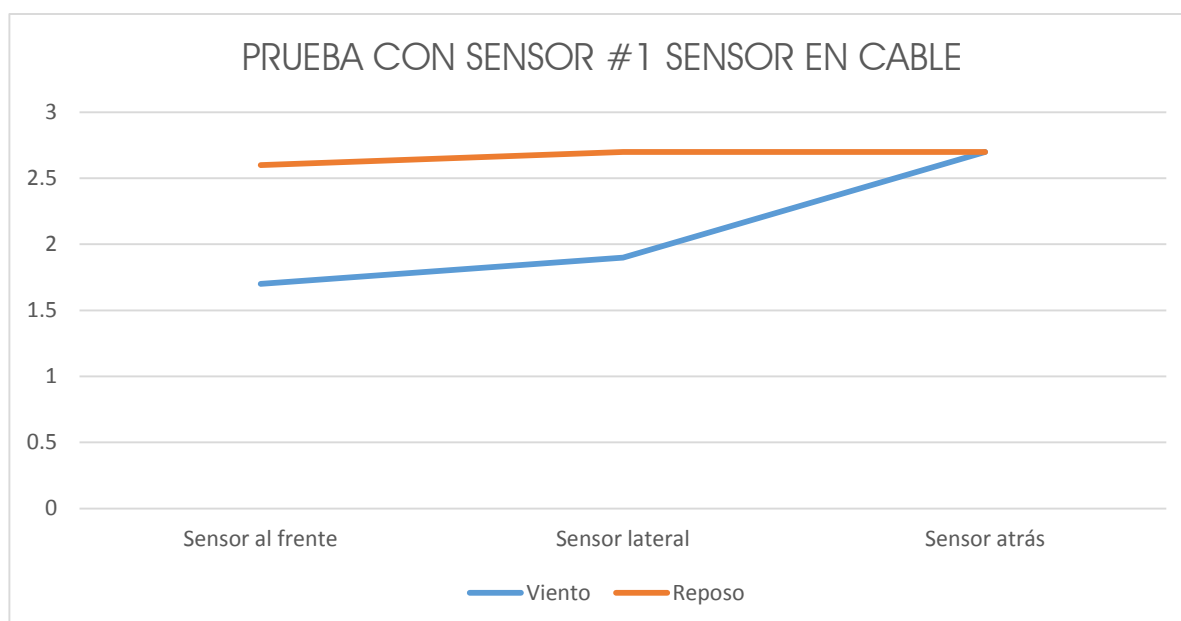


Figura 115

SENSOR #3 01/02/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 18 Mayo 2016	1.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0 gramos	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
750 gramos	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0 gramos	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
500 gramos	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
0 gramos	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
250 gramos	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
0 gramos	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Fluencia del material	1.8 no hubo cambio									

Figura 116

18 de Mayo 2016				
SENSOR #3 MUESTRA 02/01/2016	PRUEBA TUNEL DE VIENTO CON MAQUETA SENSOR EN CABLE			
	Posición: 0°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1	1.2	1.2
	Reposo con pretensión	1.2	1.5	1.5
	Posición: 90°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	0.9	1.2	1.2
	Reposo con pretensión	1.2	1.4	1.5
	Posición: 180°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1.2	1.2	1.2
	Reposo con pretensión	1.2	1.2	1.2

Figura 117

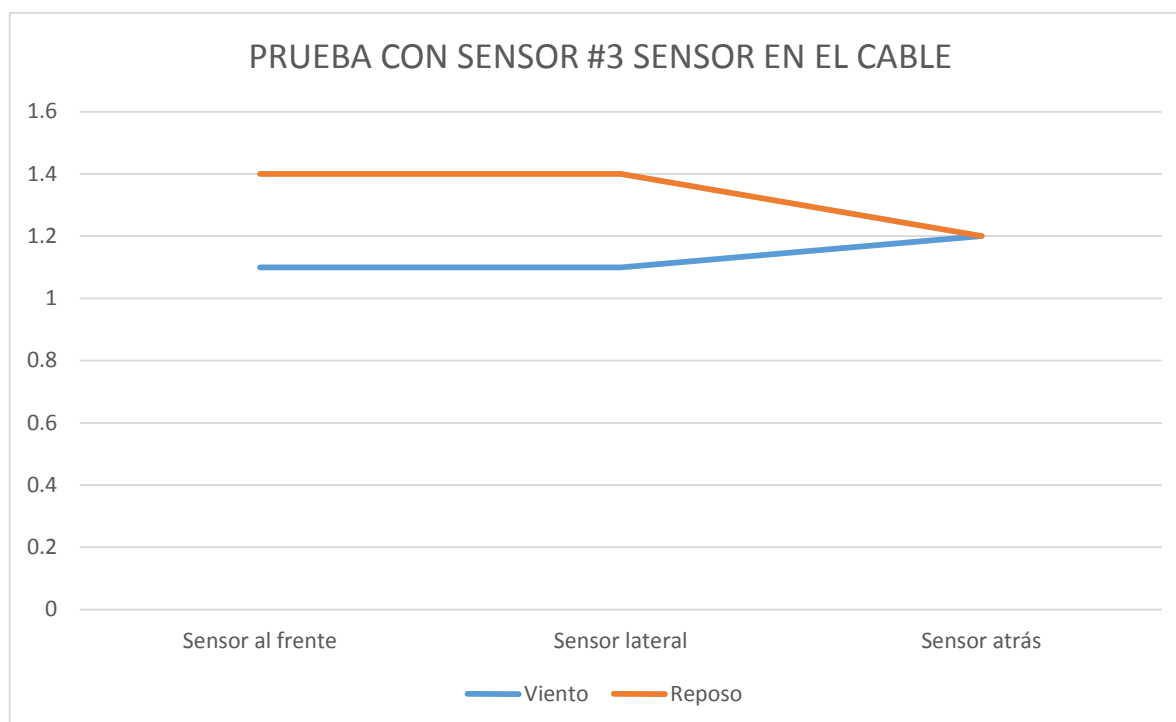


Figura 118

En éstas pruebas se utilizaron los botes de humo denso. Estos tenían una duración de 1 minuto de expulsión de humo, por tanto la manipulación de la maqueta debía ser rápida para hacer uso de los recursos mas eficientemente. Sin embargo, por la velocidad de 40km/hr proporcionada por el ventilador el uso de éstos no fue el esperado. Aunque el humo se podia apreciar un poco en el video (Ver anexos) éste no se podía apreciar el trayecto del flujo del aire debido a la velocidad, en casi todos los casos como también sucedió con la maquina productora de humo. La única posición un poco más visible fue la del sensor colocado lateralmente (90°).

La razón de esto posiblemente es por el diseño del tipo de túnel de viento que se utilizó. Como la colocación del bote de humo debía estar fijo por la parte posterior del ventilador y sin poder moverlo ya que es un objeto de pirotécnia el flujo de humo no podía ser controlado. El humo se localizaba en la parte central del área de la circunferencia del ventilador.

Otro factor importante es que al ser un túnel de viento abierto y con extracción de viento del ambiente exterior el humo se dispersa fácilmente y sin control alguno. Si se hubiera utilizado un túnel de viento de circuito cerrado podría ser que se contenga el humo todo el tiempo dentro de éste y el flujo podría ser más estable.

Sin un difusor que permita el cambio de velocidades en el uso del ventilador es muy difícil la interpretación del flujo, más sin embargo con la edición de videos es posible verlo mejor.

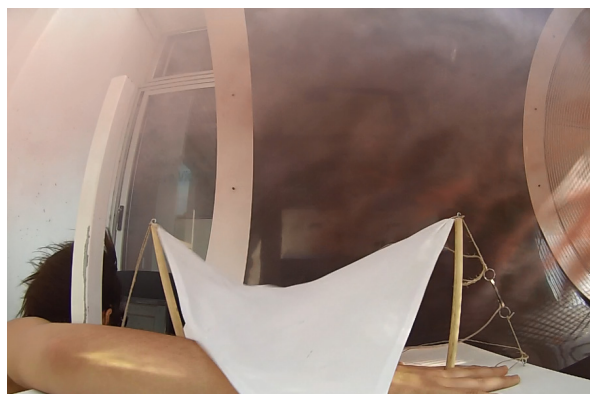


Figura 119



Figura 120

Pruebas No. 3

La tercer sesión de pruebas constituyó la última parte de los ensayos al hypar durante el estudio. El objetivo principal de esta parte fue estudiar el comportamiento de la reacción de la sujeción de la membrana a la base. Para poder realizar estas pruebas fue necesario elaborar una maqueta con una membrana diferente para poder colocar el sensor entre la base y la membrana, ya que la membrana utilizada en las pruebas anteriores era más grande del tamaño requerido para poder tensionar la membrana y que ésta estuviese en equilibrio. En las siguientes figuras se puede observar la nueva Lycra utilizada y de la misma manera que en las pruebas anteriores se colocaron los 3 sensores que ya se habían utilizado antes.



Figura 121



Figura 122



Figura 123

SENSOR #1 13/04/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 1 de Junio 2016	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
0 gramos	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
750 gramos	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
0 gramos	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
500 gramos	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
0 gramos	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
250 gramos	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
0 gramos	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Fluencia del material	2.8-1									

Figura 124

1 de Junio de 2016				
SENSOR #1 MUESTRA 02/01/2016	PRUEBA TUNEL DE VIENTO CON MAQUETA SENSOR EN SUJECIÓN A BASE			
	Posición: 0°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2.1	2.2	2.2
	Reposo con pretensión	2.5	2.5	2.5
	Posición: 90°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2.2	2.2	2.2
	Reposo con pretensión	2.5	2.5	2.5
	Posición: 180°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2.6	2.6	2.6
	Reposo con pretensión	2.5	2.5	2.5

Figura 125

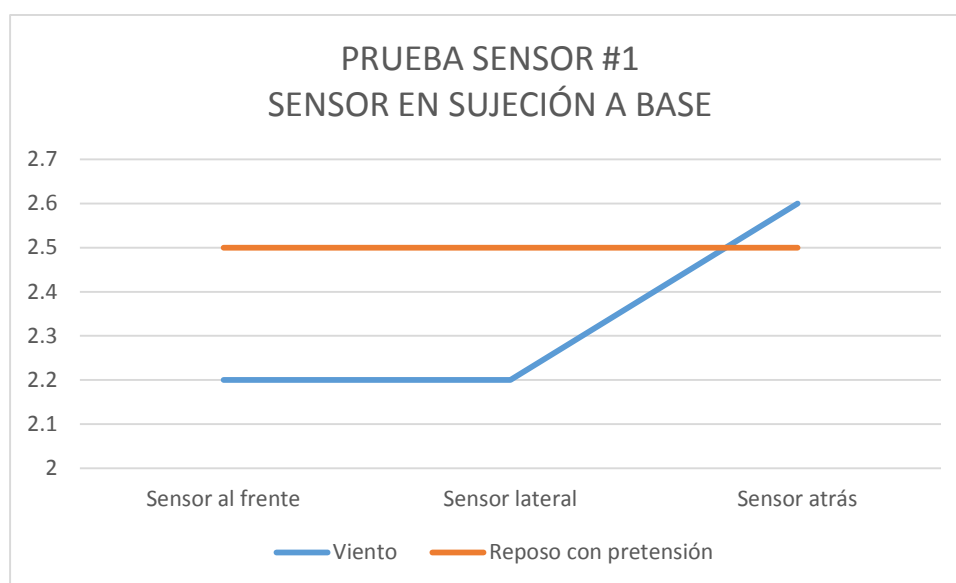


Figura 126

SENSOR #2 01/02/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 1 de Junio 2016	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
0 gramos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
750 gramos	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
0 gramos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
500 gramos	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
0 gramos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
250 gramos	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
0 gramos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Fluencia del material	3.3-2.2									

Figura 127

1 de Junio de 2016				
SENSOR #2 MUESTRA 02/01/2016	PRUEBA TUNEL DE VIENTO CON MAQUETA SENSOR EN SUJECIÓN A BASE			
	Posición: 0°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	2.9	2.9	2.9
	Reposo con pretensión	3.2	3.2	3.2
	Posición: 90°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	3	3	3
	Reposo con pretensión	3.2	3.2	3.2
	Posición: 180°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	3.2	3.2	3.2
	Reposo con pretensión	3.2	3.2	3.2

Figura 128

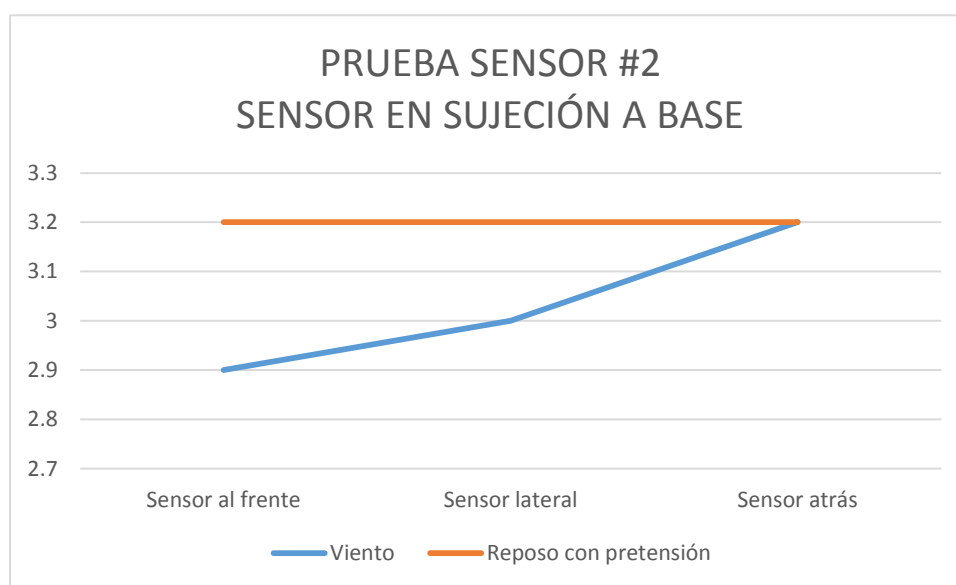


Figura 129

SENSOR #3 01/02/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 1 de Junio 2016	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
0 gramos	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
750 gramos	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
0 gramos	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
500 gramos	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
0 gramos	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
250 gramos	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4
0 gramos	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Fluencia del material	1.6-0.8									

Figura 130

1 de Junio de 2016				
SENSOR #3 MUESTRA 02/01/2016	PRUEBA TUNEL DE VIENTO CON MAQUETA SENSOR EN SUJECCIÓN A BASE			
	Posición: 0°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1.2	1.2	1.2
	Reposo con pretensión	1.3	1.3	1.3
	Posición: 90°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1.6	1.6	1.6
	Reposo con pretensión	1.3	1.3	1.3
	Posición: 180°	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Viento	1.6	1.6	1.6
	Reposo con pretensión	1.3	1.3	1.3

Figura 131

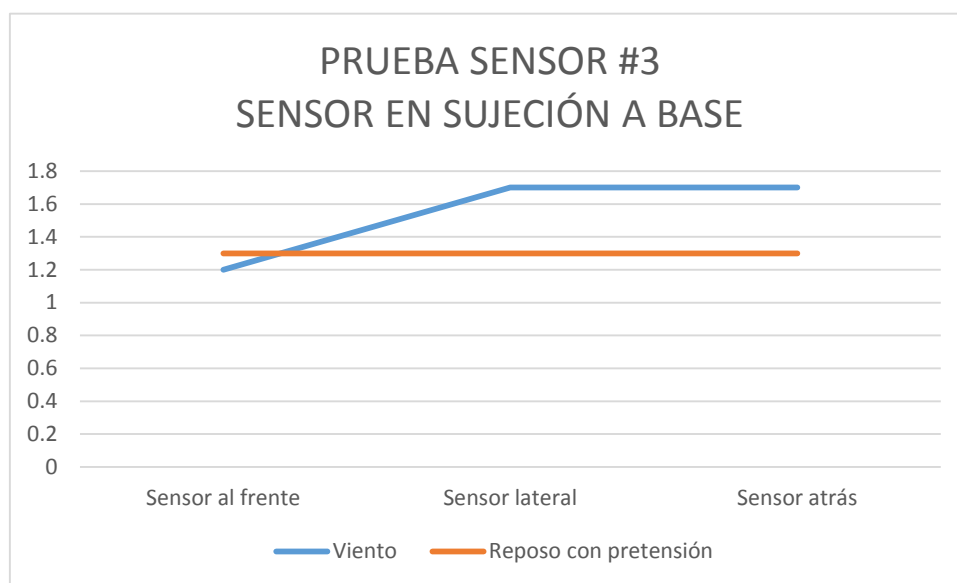


Figura 132

12

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Gracias a los experimentos realizados en el túnel de viento me fue posible entender mejor el diseño y comportamiento de los paraboloides hiperbólicos bajo la influencia del viento. Es interesante observar el comportamiento de la membrana en estados de esfuerzos. Como se puede apreciar en las figuras 133 y 134, donde se puede ver la trayectoria del viento así como también las deformaciones que sufren la membrana en distinta posición.

En este análisis dentro de la metodología desarrollada se observó que el comportamiento gráfico, tanto de Wintess como de las pruebas resultó parecido. Se puede apreciar tanto en las fotografías como en los videos el movimiento de la membrana y de el flujo del humo por las superficies de la Lycra. A continuación en las fotografías siguientes se puede comparar el movimiento del modelo con los resultados de los modelos generados en Wintess.

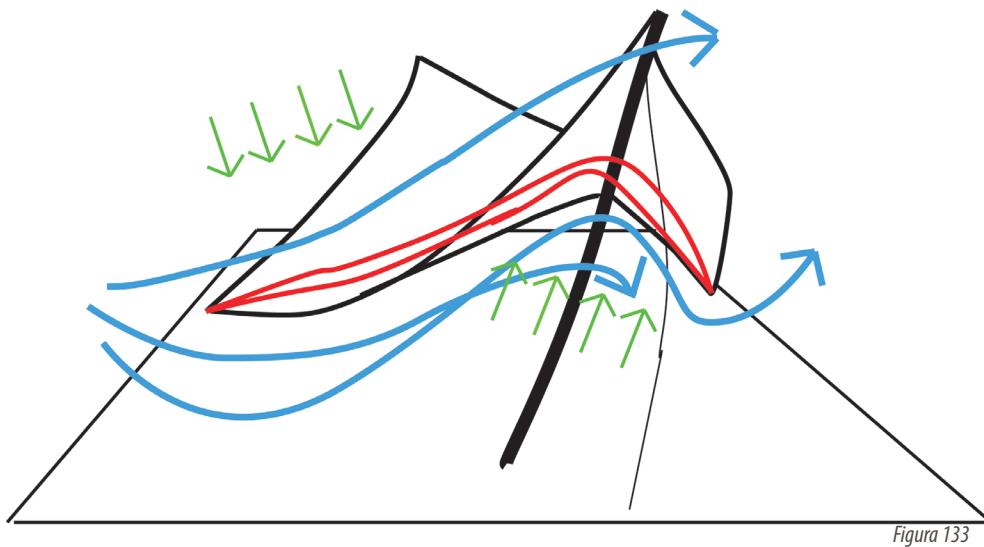


Figura 133

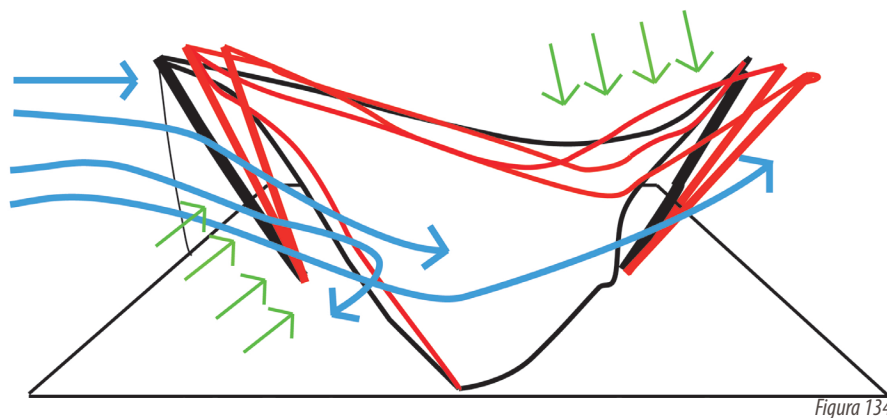


Figura 134

Posición 0°

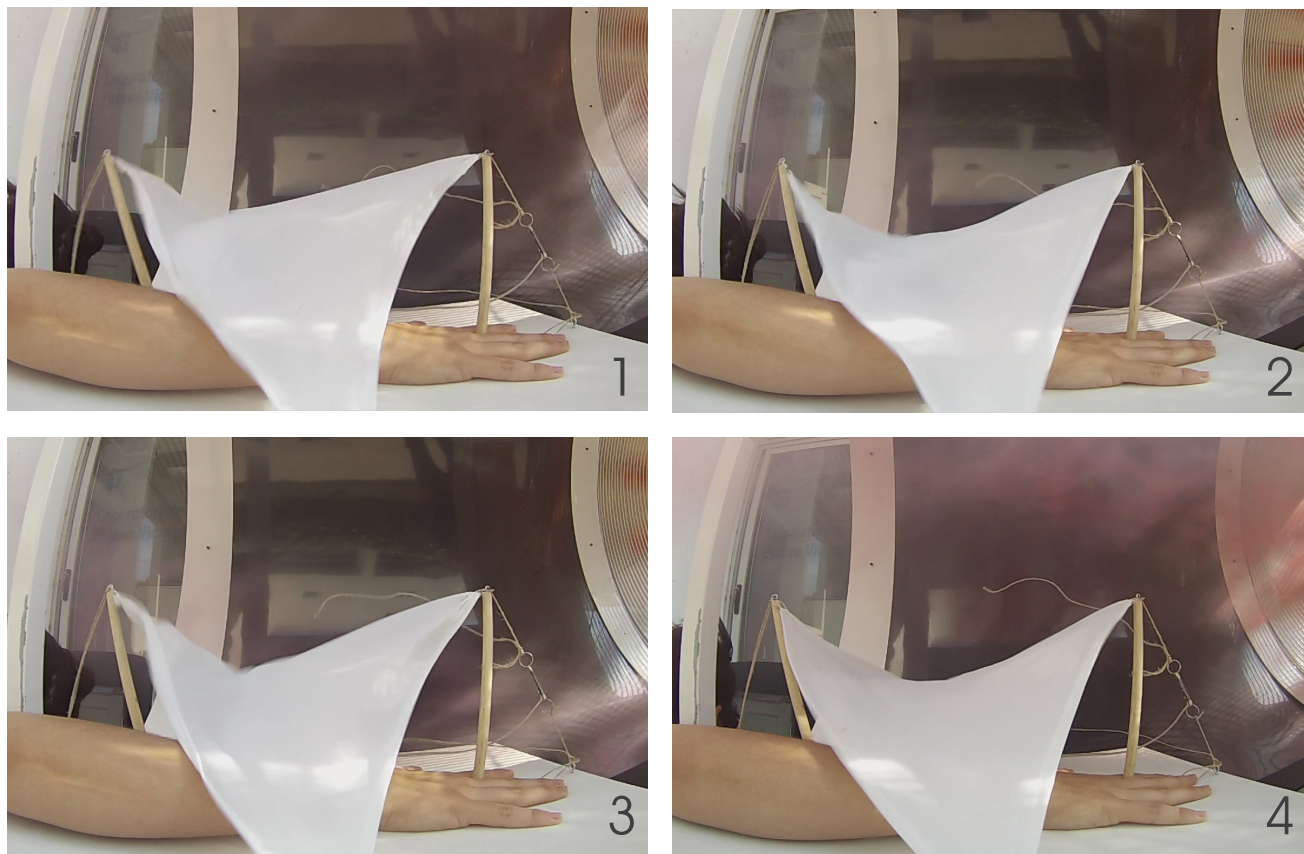


Figura 135

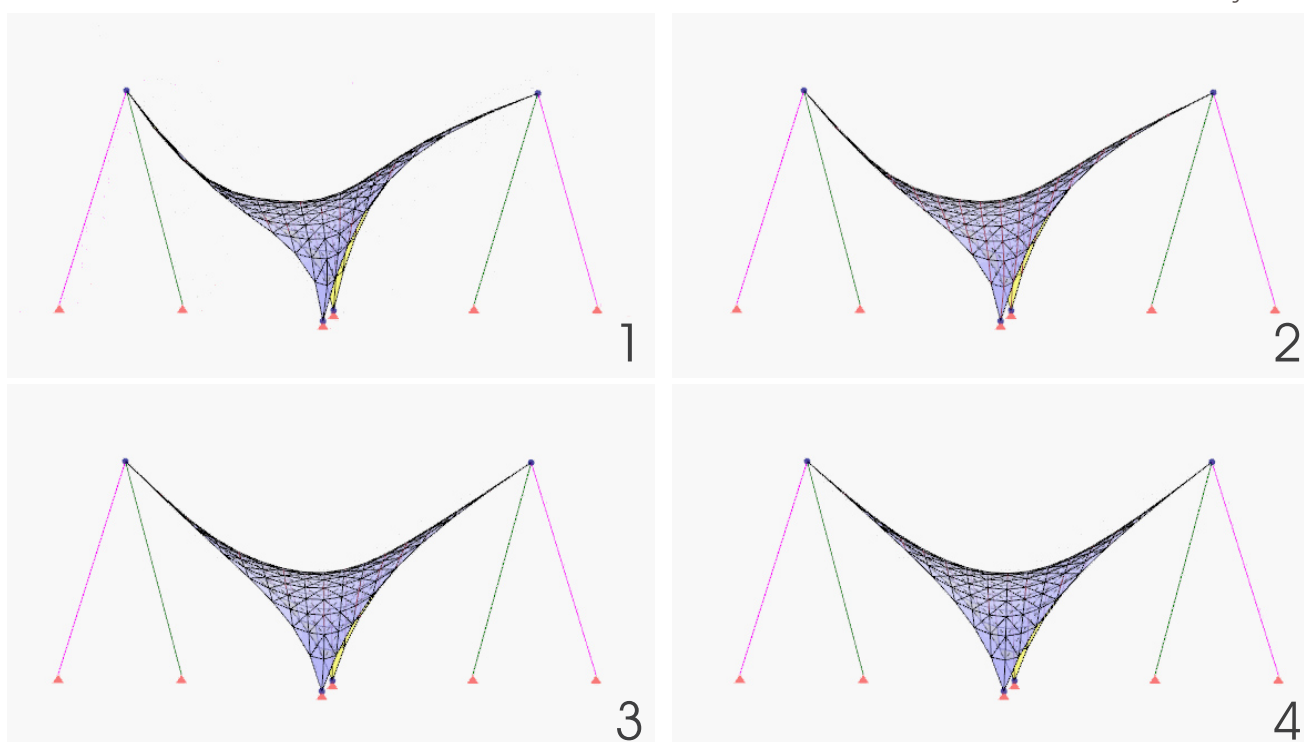


Figura 136

Posición 90°

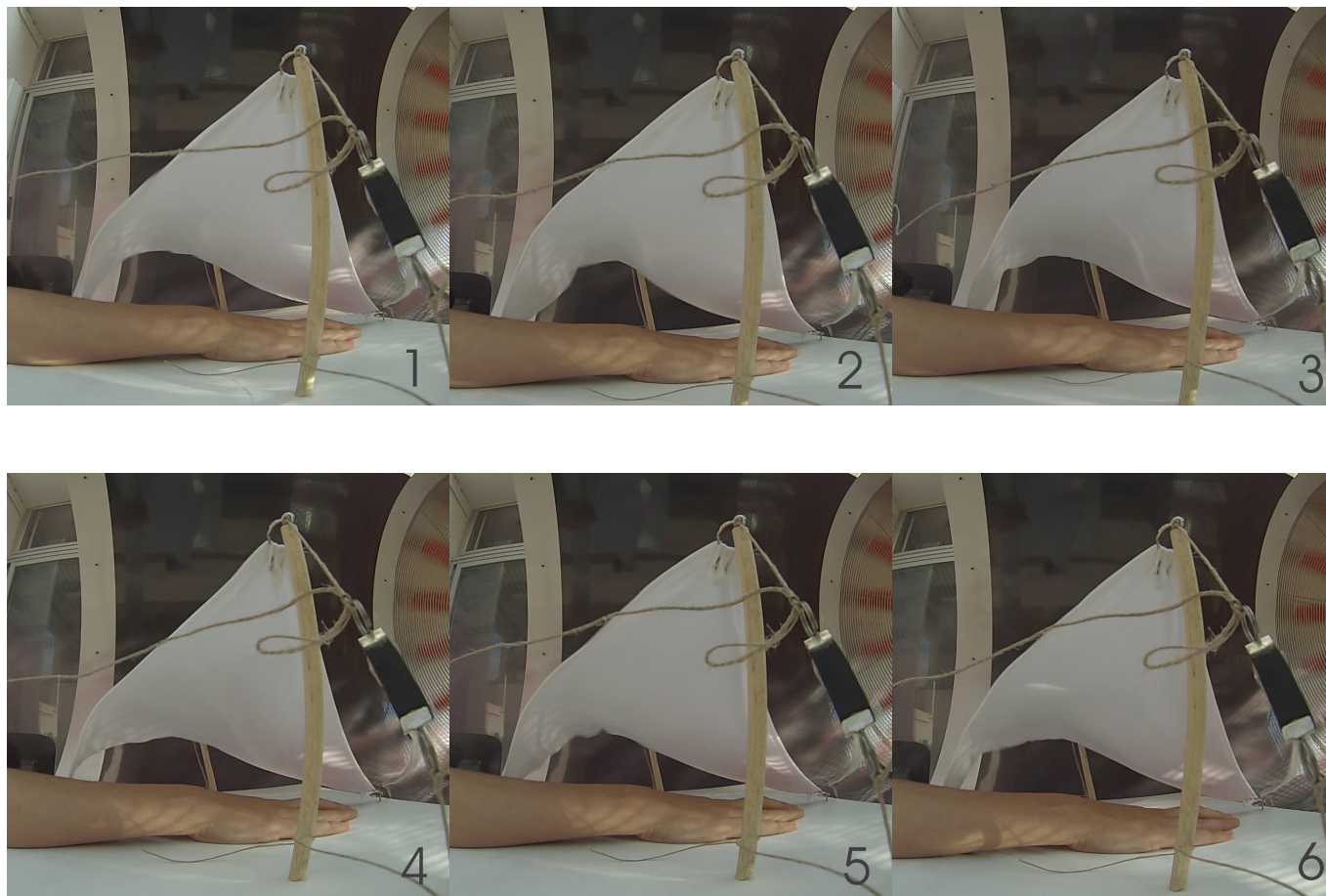


Figura 137

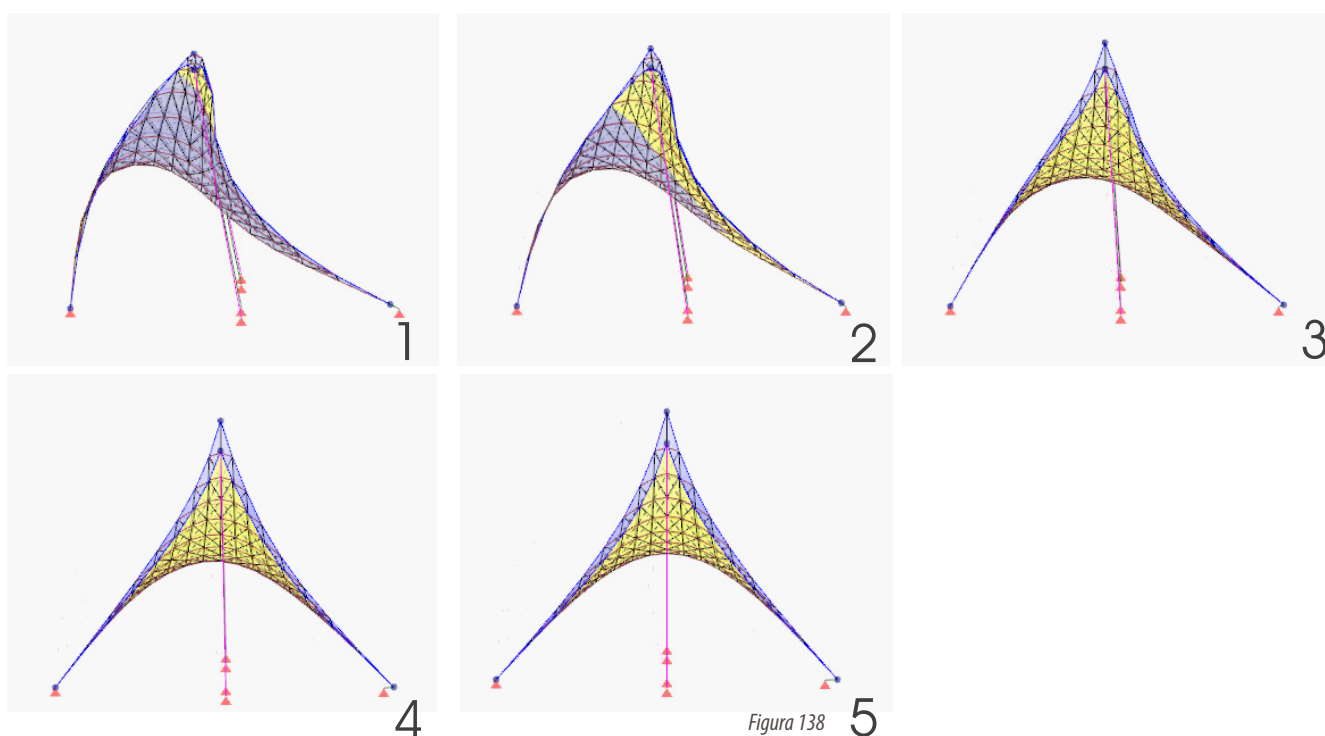


Figura 138

Posición 180°

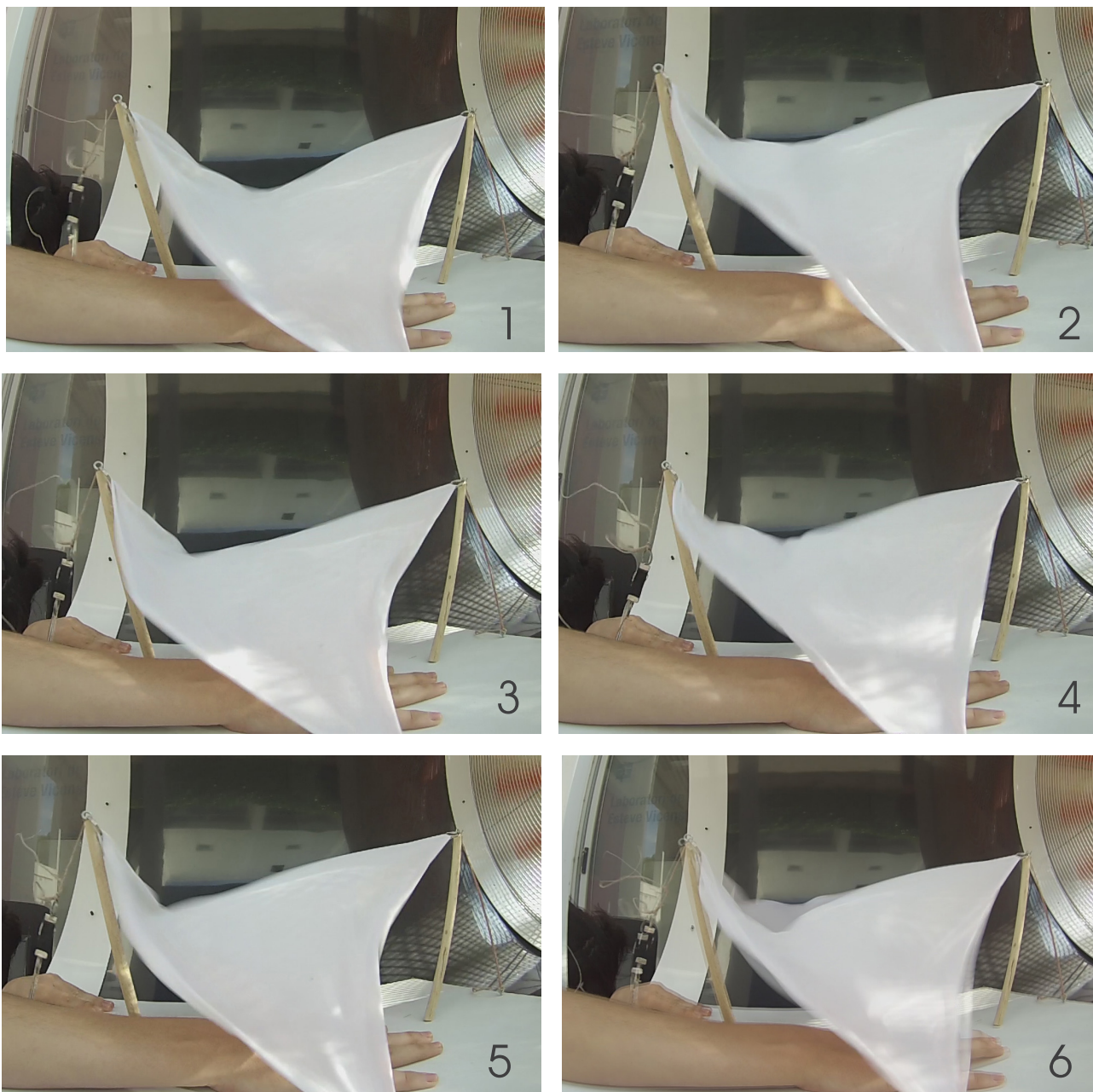


Figura 139

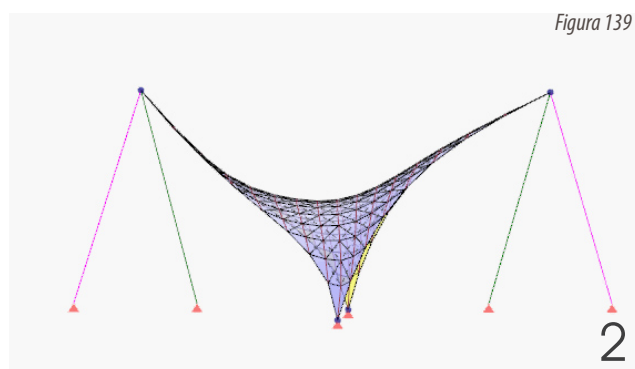
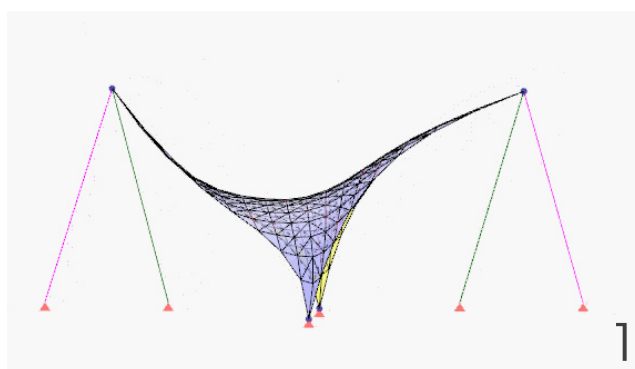


Figura 140

En los siguientes gráficos se explica cuantitativamente el resultado de las pruebas en el túnel de viento. Como antes pudimos ver en el capítulo de pruebas, se utilizaron éstos datos para su análisis e interpretación de los resultados.

Una vez que se realizó la calibración de cada uno de los sensores, éste resultado fue la referencia utilizada para la asignación de gramos en relación a las pruebas realizadas. Es decir, como se puede ver en las figuras 142, 143 y 144, las cantidades indicadas en color amarillo fueron los resultados de la calibración durante la etapa previa a los ensayos. Posteriormente al realizar las pruebas, los resultados obtenidos, éstos indicados con color verde, fueron localizados dentro del rango de voltaje obtenido en la calibración. De esta forma es posible ubicar el resultado de las pruebas con relación a gramos, estos después podrán ser comparados con los resultados del modelo de Wintess en las mismas reacciones en las cuales se realizaron las pruebas en el túnel de viento.

En cuanto a la pretensión dada al colocar el sensor (la cuál era necesaria para la estabilidad del modelo mismo de acuerdo a la forma de paraboloides hiperbólicos) ésta no fue controlada desde un principio por motivos mismos de experimentación, sino que hasta la etapa de análisis de resultados es cuando al ver la comparativa entre los resultados de los 3 sensores se pudo observar su diferencia en niveles de pretensión (esto se puede observar en las figuras 142, 143 y 144, con las cifras indicadas en color azul). La forma de saber el resultado del viento real en todas las pruebas sin que la pretensión afectase al resultado fue restar la cifra de pretensión al resultado obtenido (columna de valor real en tablas).

En algunas de las cifras obtenidas durante las pruebas estas coincidían con las de calibración así como también en las de pretensión (indicadas con una combinación de dos colores debido a esto). Los resultados de los ensayos con los tres diferentes sensores se pueden observar en la gráfica (figura 141) en los que se puede ver el mismo comportamiento de los 3 sensores diferentes, donde la posición a 0°, es decir el viento directamente ésta es la resultante más alta en cuanto a gramos, posteriormente cuando fue cambiando la posición a 90 y 180 grados fue disminuyendo la fuerza del viento.

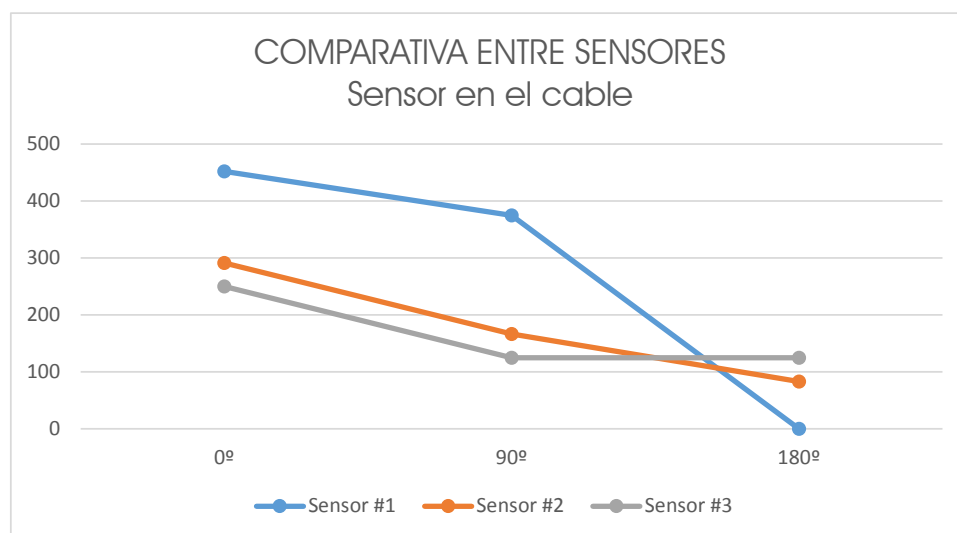


Figura 141

Resultados de pruebas colocando el sensor en el cable de tensión

SENSOR #1			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.7	
	1	833.4	
	1.1	750	
	1.2	714.29	
	1.3	678.58	
	1.4	642.87	
	1.5	607.16	
	1.6	571.45	
Sensor 0°	1.7	535.74	452.34
	1.8	500	
Sensor 90°	1.9	458.34	374.94
	2	416.68	
	2.1	375.02	
	2.2	333.36	
	2.3	291.7	
	2.4	250	
	2.5	166.7	
	2.6	83.4	
Sensor 180°	2.7	0.1	0
	2.8	0	

Simbología	
	Resultado de prueba
	Resultado de calibración
	Pretensión
	Mismo dato obtenido en calibración y pretensión
	Mismo dato obtenido en pretensión y resultado de prueba
	Mismo dato obtenido en calibración y resultado de prueba

Figura 142

SENSOR #2			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	687.5	
Sensor 0°	2.7	625	291.6
	2.8	562.5	
Sensor 90°	2.9	500	166.6
Sensor 180°	3	416.7	83.3
	3.1	333.4	
	3.2	250.1	
	3.3	0	

Figura 143

SENSOR #3			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	1	1000	
Sensor 0° y 90°	1.1	875	250
Sensor 180°	1.2	750	125
	1.3	625	125
	1.4	500	
	1.5	250	
	1.6	166.7	
	1.7	83.4	
	1.8	0.1	

Figura 144

En las siguientes tablas y gráfico se observan los resultados de las pruebas del modelo flexible también, a diferencia de los resultados anteriores éstos pertenecen a las pruebas de la colocación del sensor en la reacción de sujeción a la base. El procedimiento de las pruebas fue el mismo.

A diferencia de los resultados anteriores, los de estas pruebas en diferente localización arrojan datos menores a los anteriores, es decir, los esfuerzos producidos por el viento en esta localización son menores a los producidos en la reacción del cable tensionado.

De igual forma, la posición más afectada es la de 0° para luego ir descendiendo conforme se cambia la colocación de la maqueta dentro del túnel. Un dato importante es que en las pruebas realizadas en la posición 180° , los resultados eran muy bajos ó 0 directamente (Ver figura 145). Esto producido por la sombra de la membrana que al estar afectada por el viento directamente en el lado contrario la reacción quedaba sin tensión alguna. Esto se pudo observar tanto en el análisis de la reacción del cable como la de la sujeción a la base (figura 146 y 147).

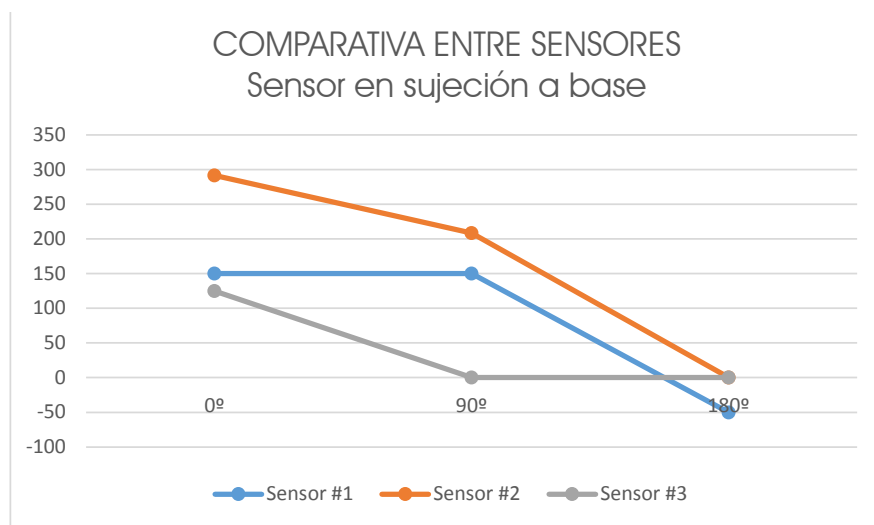


Figura 145

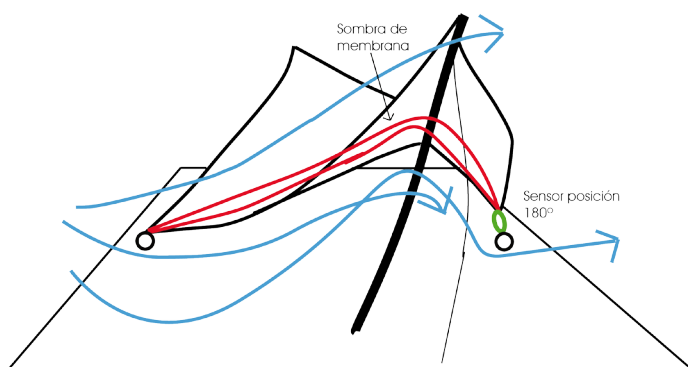


Figura 146

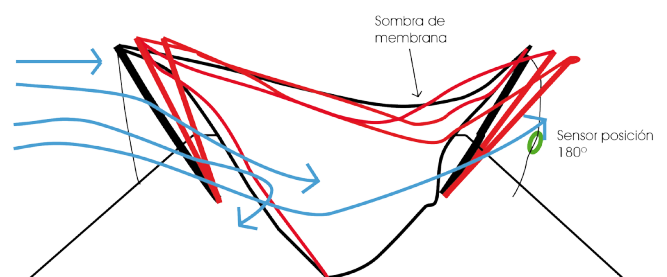


Figura 147

Resultados de pruebas colocando el sensor en articulación de unión a base

SENSOR #1			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.9	1000	
	1	964.29	
	1.1	928.58	
	1.2	892.87	
	1.3	857.16	
	1.4	821.45	
	1.5	785.74	
	1.6	750.03	
	1.7	700.03	
	1.8	650.03	
	1.9	600.03	
	2	550.03	
	2.1	500.03	
Sensor 0° y 90°	2.2	450.03	150
	2.3	400.03	
	2.4	350.03	
	2.5	300.03	
Sensor 180°	2.6	250	-50.03
	2.7	125	
	2.8	0	

Figura 148

Simbología	
	Resultado de prueba
	Resultado de calibración
	Pretensión
	Mismo dato obtenido en calibración y pretensión
	Mismo dato obtenido en pretensión y resultado de prueba
	Mismo dato obtenido en calibración y resultado de prueba

SENSOR #2			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	666.7	
	2.7	583.4	
	2.8	500.1	
Sensor 0°	2.9	416.77	291.66
Sensor 90°	3	333.44	208.33
	3.1	250.11	
Sensor 180°	3.2	125.11	0
	3.3	0.11	

Figura 149

SENSOR #3			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.67	
	1	833.34	
	1.1	750.01	
Sensor 0°	1.2	625.01	125
	1.3	500.01	
	1.4	250	
	1.5	125	
Sensor 90° y 180°	1.6	0	0

Figura 150

13

COMPARATIVA CON WINTESS

El último análisis que se estudió en este trabajo fue la comparación de los resultados de las pruebas con los obtenidos del modelo de Wintess. De esta manera podemos comparar el comportamiento de un modelo físico con el del modelo 3d de Wintess.

Después de haber tenido el modelo en equilibrio (Figura 151) el procedimiento para realizar la comparativa será elegir la barra que actúa como cable tensor y mirar sus propiedades en donde la fuerza axial será el dato a comparar con los resultados de las pruebas de túnel de viento (Figura 152).

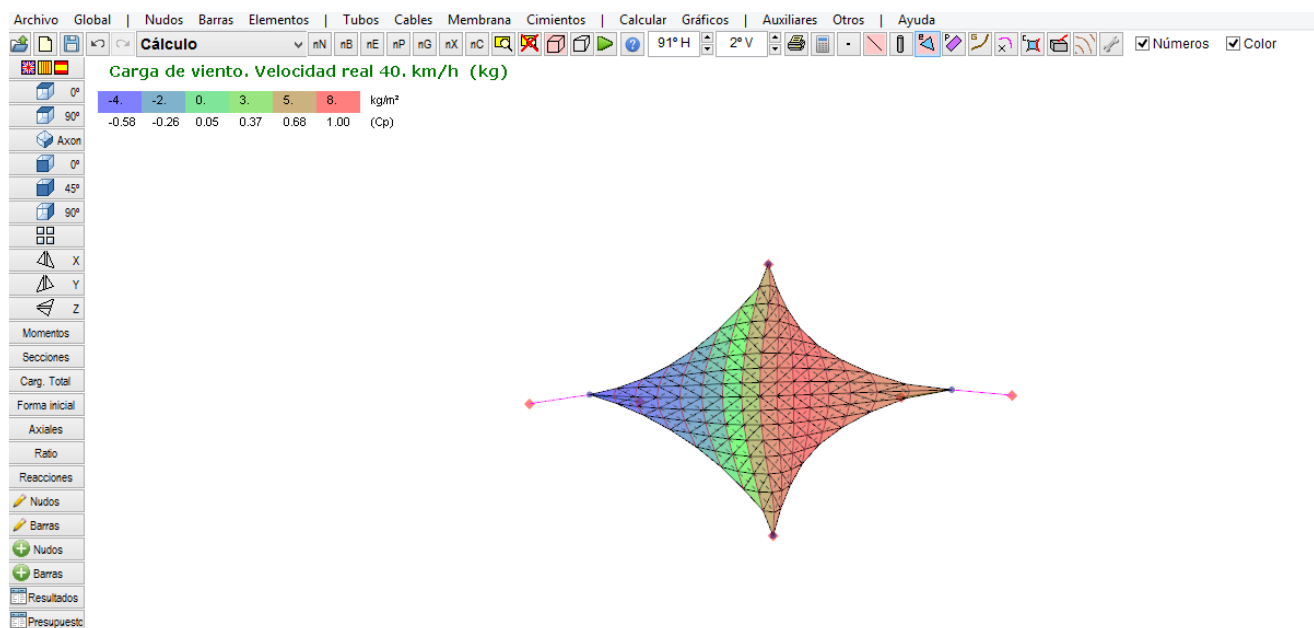


Figura 151

Datos de barra (cable tensado) en donde se colocó el sensor.

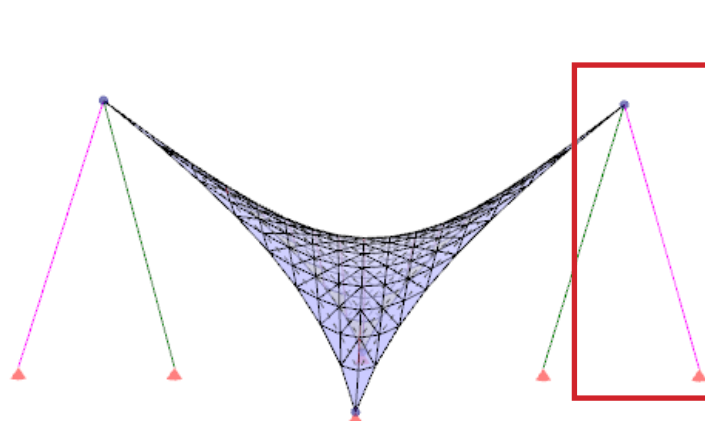


Figura 152

Una vez obtenidos los resultados de cada posición (0° , 90° y 180°) y compararlos con los resultados de las pruebas, tanto en la colocación del sensor en el cable como en la articulación, se analizará la estabilidad del modelo cambiando grado de pretensión como se ajustó en el modelo flexible al realizar las pruebas. Esto se logrará cambiando la temperatura del cable (enfriándolo). Manteniendo siempre el coeficiente de dilatación térmica en la misma cifra.

Comparativa 1**SENSOR #1**

Sensor en cable

Posición: 0°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 40

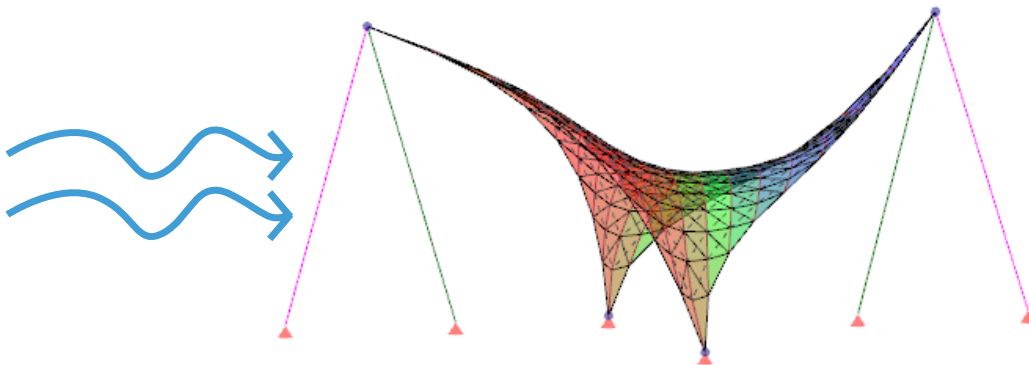
Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 514 (65-147) Cable 1 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0.001

dTemp = -20°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

Longitud final = 0.195 m (-4.0 mm)

Fuerza axial = 0.132 kg (1.32 N)

Tensión = 13 kp/cm² (1.3 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 0.29 Hz, T = 3.40 s

SENSOR #1			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
Sensor 0°	0.8	1000	
	0.9	916.7	
	1	833.4	
	1.1	750	
	1.2	714.29	
	1.3	678.58	
	1.4	642.87	
	1.5	607.16	
Sensor 90°	1.6	571.45	
	1.7	535.74	452.34
	1.8	500	
	1.9	458.34	374.94
	2	416.68	
	2.1	375.02	
	2.2	333.36	
	2.3	291.7	
Sensor 180°	2.4	250	
	2.5	166.7	
	2.6	83.4	
	2.7	0.1	0
	2.8	0	

Comparativa 2

SENSOR #2

Sensor en cable

Posición: 0°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real ☐ Velocidad básica

Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m²

Viento Y (km/h) 40

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

☐ Cp manual

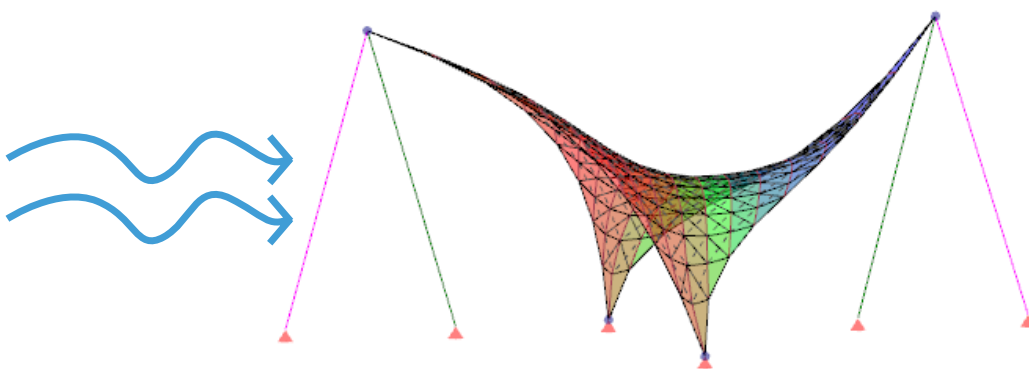
Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 514 (65-147) Cable 1 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0.001

dTemp = -20°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

Longitud final = 0.195 m (-4.0 mm)

Fuerza axial = 0.132 kg (1.32 N)

Tensión = 13 kp/cm² (1.3 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 0.29 Hz, T = 3.40 s

SENSOR #2			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	687.5	
Sensor 0°	2.7	625	291.6
	2.8	562.5	
Sensor 90°	2.9	500	166.6
Sensor 180°	3	416.7	83.3
	3.1	333.4	
	3.2	250.1	
	3.3	0	

Comparativa 3

SENSOR #3

Sensor en cable

Posición: 0°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real ☐ Velocidad básica

Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m²

Viento Y (km/h) 40

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

☐ Cp manual

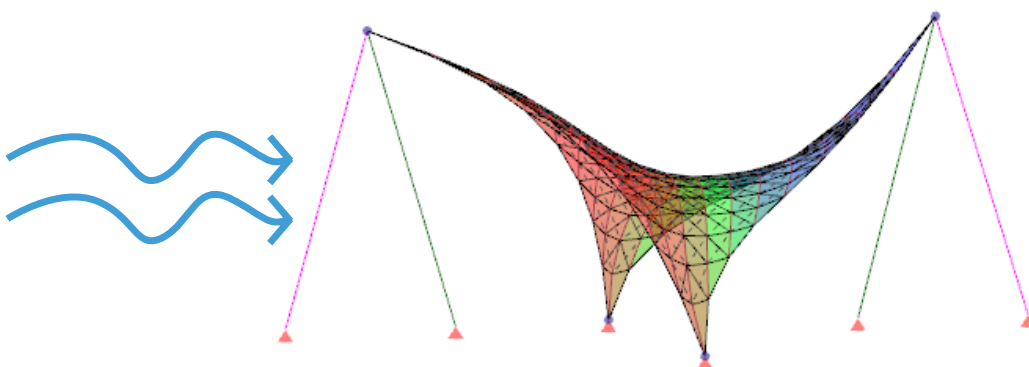
Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 514 (65-147) Cable 1 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0.001

dTemp = -20°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

Longitud final = 0.195 m (-4.0 mm)

Fuerza axial = 0.132 kg (1.32 N)

Tensión = 13 kp/cm² (1.3 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 0.29 Hz, T = 3.40 s

SENSOR #3			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	1	1000	
Sensor 0° y 90°	1.1	875	250
Sensor 180°	1.2	750	125
	1.3	625	125
	1.4	500	
	1.5	250	
	1.6	166.7	
	1.7	83.4	
	1.8	0.1	

Comparativa 4**SENSOR #1**

Sensor en cable

Posición: 90°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

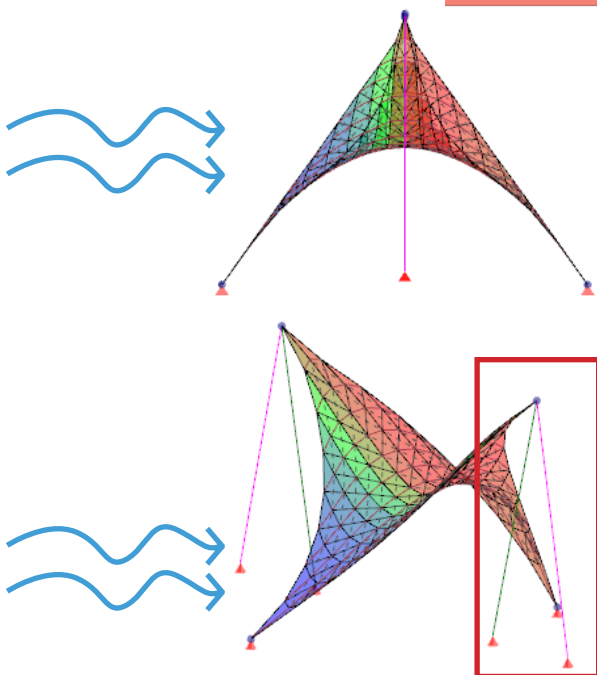
☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 0 Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



SENSOR #1			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.7	
	1	833.4	
	1.1	750	
	1.2	714.29	
	1.3	678.58	
	1.4	642.87	
	1.5	607.16	
	1.6	571.45	
Sensor 0°	1.7	535.74	452.34
	1.8	500	
Sensor 90°	1.9	458.34	374.94
	2	416.68	
	2.1	375.02	
	2.2	333.36	
	2.3	291.7	
	2.4	250	
	2.5	166.7	
	2.6	83.4	
Sensor 180°	2.7	0.1	0
	2.8	0	

Barras		
Barra 516	(81-149)	Cable 2 = cuerda_maqueta
6 - Viento (Barra libre)		
Grupo =		
Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)		
Sección = 0.01 cm²		
Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)		
Peso = 0.0 kp (0.0 kN)		
Coeficiente de dilatación termica = 0		
dTemp = 0°		
Pretensado = 0.0 t		
Longitud inicial = 0.199 m		
Longitud final = 0.199 m (+0.0 mm)		
Fuerza axial = 0.092 kg (0.92 N)		
Tensión = 9 kp/cm² (0.9 N/mm²)		
Ratio = 0.00		
Freq. Vibr. = 0.24 Hz, T = 4.15 s		

Barras		
Barra 514	(65-147)	Cable 1 = cuerda_maqueta
6 - Viento (Barra libre)		
Grupo =		
Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)		
Sección = 0.01 cm²		
Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)		
Peso = 0.0 kp (0.0 kN)		
Coeficiente de dilatación termica = 0.001		
dTemp = -20°		
Pretensado = 0.0 t		
Longitud inicial = 0.199 m		
Longitud final = 0.195 m (-4.0 mm)		
Fuerza axial = 0.088 kg (0.88 N)		
Tensión = 9 kp/cm² (0.9 N/mm²)		
Ratio = 0.00		
Freq. Vibr. = 0.24 Hz, T = 4.16 s		

Comparativa 5**SENSOR #2**

Sensor en cable

Posición: 90°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real ☐ Velocidad básica

Viento X (km/h) W = 7.7 kg/m²

Viento Y (km/h)

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

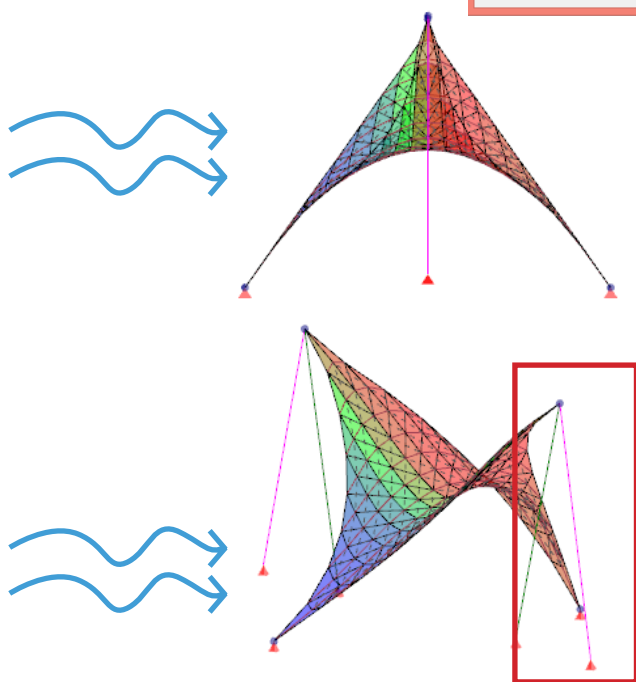
☐ Cp manual

Tipo de edificio (Cp)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) Presión interna (kg/m²) Pretensado de la membrana (%)



SENSOR #2			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	687.5	
Sensor 0°	2.7	625	291.6
	2.8	562.5	
Sensor 90°	2.9	500	166.6
Sensor 180°	3	416.7	83.3
	3.1	333.4	
	3.2	250.1	
	3.3	0	

Barras	
Barra 516 (81-149)	Cable 2 = cuerda_maqueta
6 - Viento (Barra libre)	
Grupo =	
Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)	
Sección = 0.01 cm²	
Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)	
Peso = 0.0 kp (0.0 kN)	
Coeficiente de dilatación termica = 0	
dTemp = 0°	
Pretensado = 0.0 t	
Longitud inicial = 0.199 m	
Longitud final = 0.199 m (+0.0 mm)	
Fuerza axial = 0.092 kg (0.92 N)	
Tensión = 9 kp/cm² (0.9 N/mm²)	
Ratio = 0.00	
Freq. Vibr. = 0.24 Hz, T = 4.15 s	

Barras	
Barra 514 (65-147)	Cable 1 = cuerda_maqueta
6 - Viento (Barra libre)	
Grupo =	
Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)	
Sección = 0.01 cm²	
Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)	
Peso = 0.0 kp (0.0 kN)	
Coeficiente de dilatación termica = 0.001	
dTemp = -20°	
Pretensado = 0.0 t	
Longitud inicial = 0.199 m	
Longitud final = 0.195 m (-4.0 mm)	
Fuerza axial = 0.088 kg (0.88 N)	
Tensión = 9 kp/cm² (0.9 N/mm²)	
Ratio = 0.00	
Freq. Vibr. = 0.24 Hz, T = 4.16 s	

Comparativa 6**SENSOR #3**

Sensor en cable

Posición: 90°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

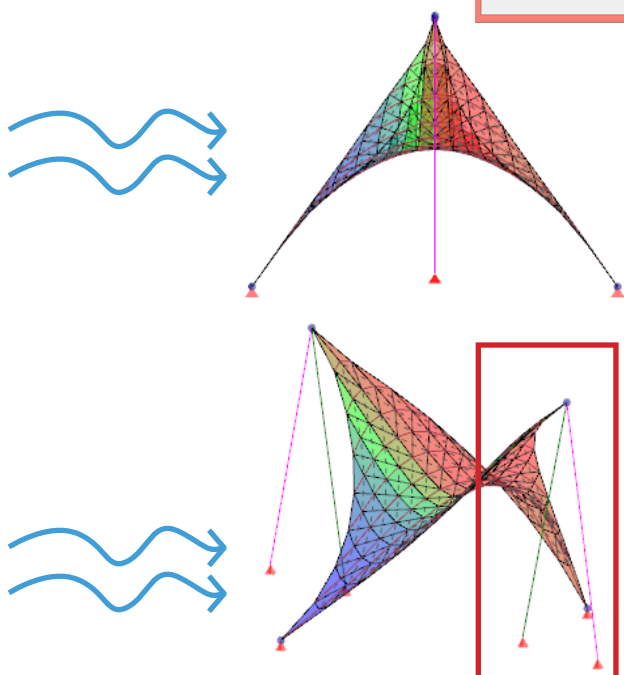
☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 0 Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



SENSOR #3			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	1	1000	
Sensor 0° y 90°	1.1	875	250
Sensor 180°	1.2	750	125
	1.3	625	125
	1.4	500	
	1.5	250	
	1.6	166.7	
	1.7	83.4	
	1.8	0.1	

Barras		
Barra 516	(81-149)	Cable 2 = cuerda_maqueta
6 - Viento (Barra libre)		
Grupo =		
Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)		
Sección = 0.01 cm²		
Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)		
Peso = 0.0 kp (0.0 kN)		
Coeficiente de dilatación termica = 0		
dTemp = 0°		
Pretensado = 0.0 t		
Longitud inicial = 0.199 m		
Longitud final = 0.199 m (+0.0 mm)		
Fuerza axial = 0.092 kg (0.92 N)		
Tensión = 9 kp/cm² (0.9 N/mm²)		
Ratio = 0.00		
Freq. Vibr. = 0.24 Hz, T = 4.15 s		

Barras		
Barra 514	(65-147)	Cable 1 = cuerda_maqueta
6 - Viento (Barra libre)		
Grupo =		
Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)		
Sección = 0.01 cm²		
Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)		
Peso = 0.0 kp (0.0 kN)		
Coeficiente de dilatación termica = 0.001		
dTemp = -20°		
Pretensado = 0.0 t		
Longitud inicial = 0.199 m		
Longitud final = 0.195 m (-4.0 mm)		
Fuerza axial = 0.088 kg (0.88 N)		
Tensión = 9 kp/cm² (0.9 N/mm²)		
Ratio = 0.00		
Freq. Vibr. = 0.24 Hz, T = 4.16 s		

Comparativa 7**SENSOR #1**

Sensor en cable

Posición: 180°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 40

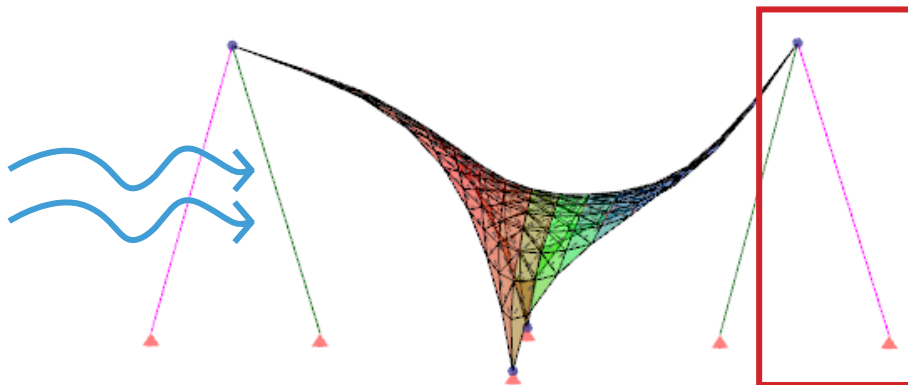
Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 516 (81-149) Cable 2 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0

dTemp = 0°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

Longitud final = 0.199 m (+0.0 mm)

Fuerza axial = 0.007 kg (0.07 N)

Tensión = 1 kp/cm² (0.1 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 0.06 Hz, T = 15.39 s

SENSOR #1			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.7	
	1	833.4	
	1.1	750	
	1.2	714.29	
	1.3	678.58	
	1.4	642.87	
	1.5	607.16	
	1.6	571.45	
Sensor 0°	1.7	535.74	452.34
	1.8	500	
Sensor 90°	1.9	458.34	374.94
	2	416.68	
	2.1	375.02	
	2.2	333.36	
	2.3	291.7	
	2.4	250	
	2.5	166.7	
	2.6	83.4	
Sensor 180°	2.7	0.1	0
	2.8	0	

Comparativa 8**SENSOR #2**

Sensor en cable

Posición: 180°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real ☐ Velocidad básica

Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m²

Viento Y (km/h) 40

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

☐ Cp manual

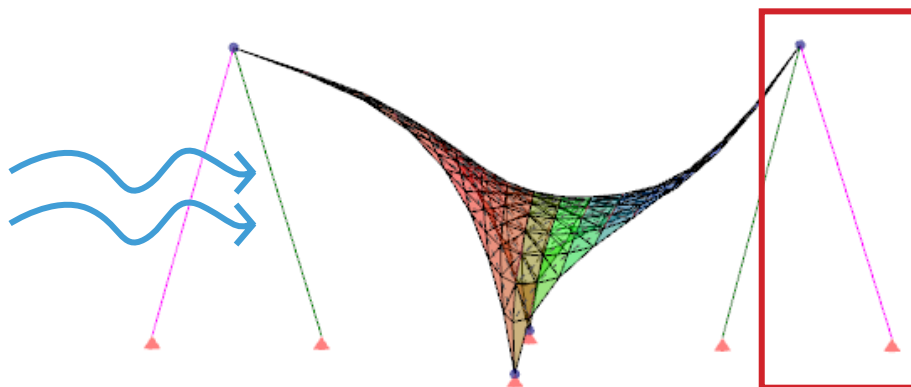
Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 516 (81-149) Cable 2 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0

dTemp = 0°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

Longitud final = 0.199 m (+0.0 mm)

Fuerza axial = 0.007 kg (0.07 N)

Tensión = 1 kp/cm² (0.1 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 0.06 Hz, T = 15.39 s

SENSOR #2			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	687.5	
Sensor 0°	2.7	625	291.6
	2.8	562.5	
Sensor 90°	2.9	500	166.6
Sensor 180°	3	416.7	83.3
	3.1	333.4	
	3.2	250.1	
	3.3	0	

Comparativa 9**SENSOR #3**

Sensor en cable

Posición: 180°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real ☐ Velocidad básica

Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m²

Viento Y (km/h) 40

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

☐ Cp manual

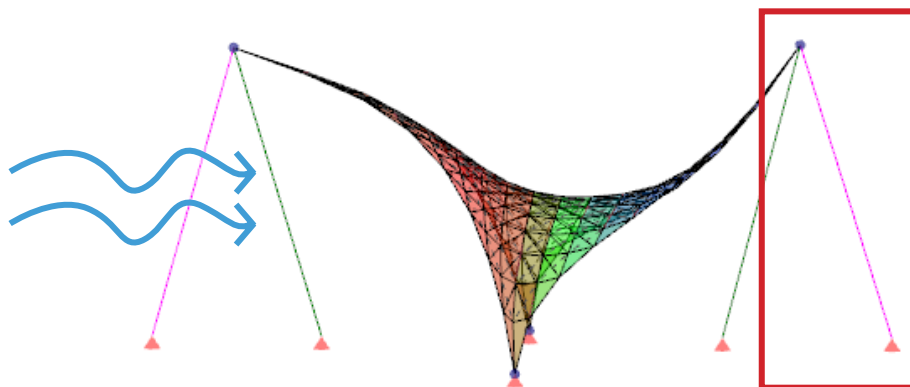
Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 516 (81-149) Cable 2 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0

dTemp = 0°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

Longitud final = 0.199 m (+0.0 mm)

Fuerza axial = 0.007 kg (0.07 N)

Tensión = 1 kp/cm² (0.1 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 0.06 Hz, T = 15.39 s

SENSOR #3			
Sensor en el cable			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	1	1000	
Sensor 0° y 90°	1.1	875	250
Sensor 180°	1.2	750	125
	1.3	625	125
	1.4	500	
	1.5	250	
	1.6	166.7	
	1.7	83.4	
	1.8	0.1	

Resumen de resultados de comparativa de pruebas de túnel de viento con los 3 sensores y el modelo de Wintess.

Resultado de prueba de túnel de viento				
Sensor colocado en cable de tensión				
Tipo de estudio	Posicion	Sensor #1	Sensor #2	Sensor #3
Tunel de viento	0º	452.34 gr.	291.6 gr.	250 gr.
Resultado de Wintess		132 gr.	132 gr.	132 gr.
Tunel de viento	90º	374.94 gr.	166.6 gr.	125 gr.
Resultado de Wintess		92/88 gr.	92/88 gr.	92/88 gr.
Tunel de viento	180º	0 gr.	83.3 gr.	125 gr.
Resultado de Wintess		7 gr.	7 gr.	7 gr.

En la tabla se muestran los resultados convertidos a gramos obtenidos del programa Wintess en cada caso, tanto con diferentes sensores como posiciones. De esta manera podemos tener en comparativa final los dos métodos de estudios con los resultados reales sin la mayoración de la pretensión.

En la posición 0º de los resultados tienen grandes diferencias en comparación con los obtenidos de Wintess, desde 320 gramos hasta 118 gramos, en cada uno de los casos.

En la posición de 90º las diferencias son un poco menores a las anteriores pero aún así los resultados de las pruebas del túnel de viento siguen siendo más altas. En este caso, al estar los dos mástiles en la misma posición se obtuvieron cantidades diferentes en cada uno de ellos, tal es la razón de las dos cifras en las casillas de las pruebas de Wintess.

En cuanto a la posición de 180º se puede ver que es la que coinciden un poco más los resultados en comparación a los anteriores. Las diferencias no son tan grandes como las anteriores posiciones. Aunque siguen habiendolas.

Comparativa 1**SENSOR #1**

Sensor en sujeción a base

Posición: 0°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

Viento Y (km/h) 0

☐ Velocidad básica

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

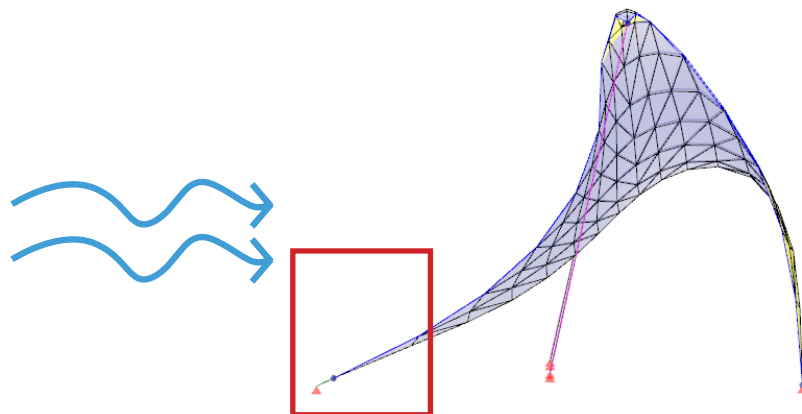
180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0

Presión interna (kg/m²) 0

Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 513 (1-146) Tubo = Ø8 Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.4 kp (0.004 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 1.001 m

Longitud final = 1.002 m (+0.8 mm)

Fuerza axial = 0.839 t (8.39 kN)

Tensión = 5681 kp/cm² (568.1 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±89.42 kp/cm² (±8.9 N/mm²)

Tensión total = 5770.72 kp/cm² (577.1 N/mm²)

Ratio = 39.06

SENSOR #1			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.9	1000	
	1	964.29	
	1.1	928.58	
	1.2	892.87	
	1.3	857.16	
	1.4	821.45	
	1.5	785.74	
	1.6	750.03	
	1.7	700.03	
	1.8	650.03	
	1.9	600.03	
	2	550.03	
	2.1	500.03	
Sensor 0° y 90°	2.2	450.03	150
	2.3	400.03	
	2.4	350.03	
	2.5	300.03	
Sensor 180°	2.6	250	-50.03
	2.7	125	
	2.8	0	

Comparativa 2**SENSOR #2**

Sensor en sujeción a base

Posición: 0°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real ☐ Velocidad básica

Viento X (km/h) W = 7.7 kg/m²

Viento Y (km/h)

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

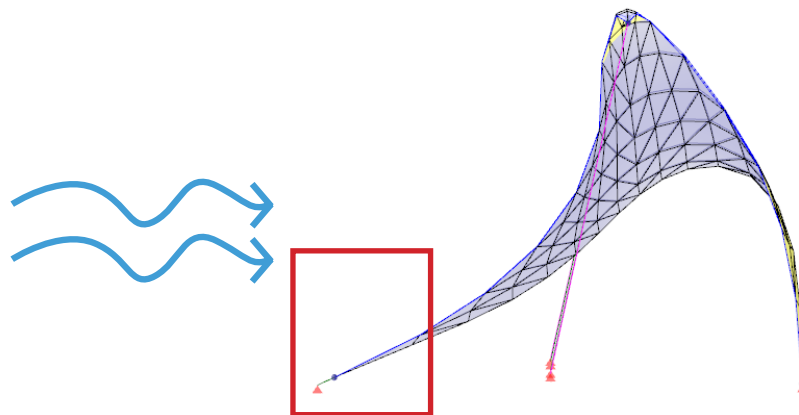
Tipo de edificio (Cp)

☐ Cp manual

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) Presión interna (kg/m²) Pretensado de la membrana (%)



Barras

Barra 513 (1-146) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.4 kp (0.004 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 1.001 m

Longitud final = 1.002 m (+0.8 mm)

Fuerza axial = 0.839 t (8.39 kN)

Tensión = 5681 kp/cm² (568.1 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±89.42 kp/cm² (±8.9 N/mm²)

Tensión total = 5770.72 kp/cm² (577.1 N/mm²)

Ratio = 39.06

SENSOR #2			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	666.7	
	2.7	583.4	
	2.8	500.1	
Sensor 0°	2.9	416.77	291.66
Sensor 90°	3	333.44	208.33
	3.1	250.11	
Sensor 180°	3.2	125.11	0
	3.3	0.11	

Comparativa 3**SENSOR #3**

Sensor en sujeción a base

Posición: 0°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 0

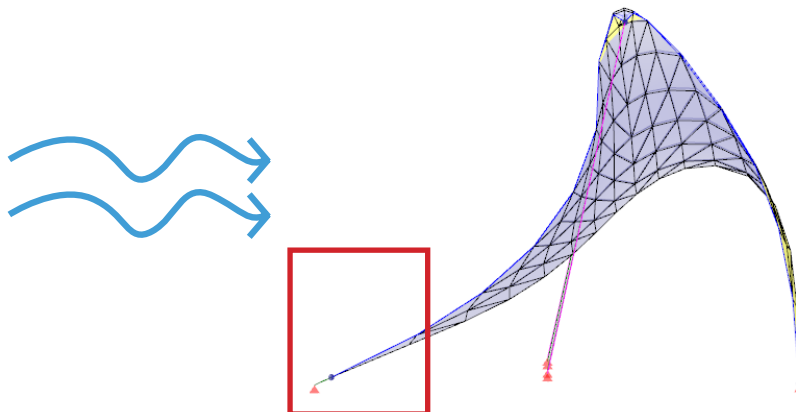
Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 513 (1-146) Tubo = Ø8 Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.4 kp (0.004 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 1.001 m

Longitud final = 1.002 m (+0.8 mm)

Fuerza axial = 0.839 t (8.39 kN)

Tensión = 5681 kp/cm² (568.1 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±89.42 kp/cm² (±8.9 N/mm²)

Tensión total = 5770.72 kp/cm² (577.1 N/mm²)

Ratio = 39.06

SENSOR #3			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.67	
	1	833.34	
	1.1	750.01	
Sensor 0°	1.2	625.01	125
	1.3	500.01	
	1.4	250	
	1.5	125	
Sensor 90° y 180°	1.6	0	0

Comparativa 4**SENSOR #1**

Sensor en cable

Posición: 90°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m³ ☐ Cp manual

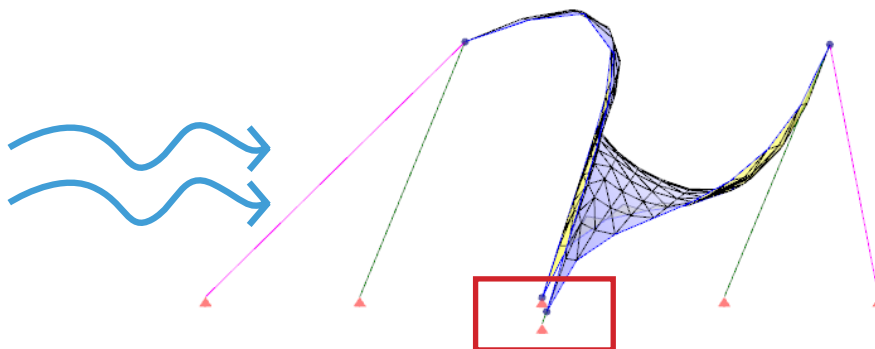
☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 40 Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 513 (1-146) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.4 kp (0.004 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 1.001 m

Longitud final = 1.002 m (+0.7 mm)

Fuerza axial = 0.689 t (6.89 kN)

Tensión = 4649 kp/cm² (464.9 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±54.70 kp/cm² (±5.5 N/mm²)

Tensión total = 4703.96 kp/cm² (470.4 N/mm²)

Ratio = 31.96

SENSOR #1			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.9	1000	
	1	964.29	
	1.1	928.58	
	1.2	892.87	
	1.3	857.16	
	1.4	821.45	
	1.5	785.74	
	1.6	750.03	
	1.7	700.03	
	1.8	650.03	
	1.9	600.03	
	2	550.03	
	2.1	500.03	
Sensor 0° y 90°	2.2	450.03	150
	2.3	400.03	
	2.4	350.03	
	2.5	300.03	
Sensor 180°	2.6	250	-50.03
	2.7	125	
	2.8	0	

Comparativa 5**SENSOR #2**

Sensor en cable

Posición: 90°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

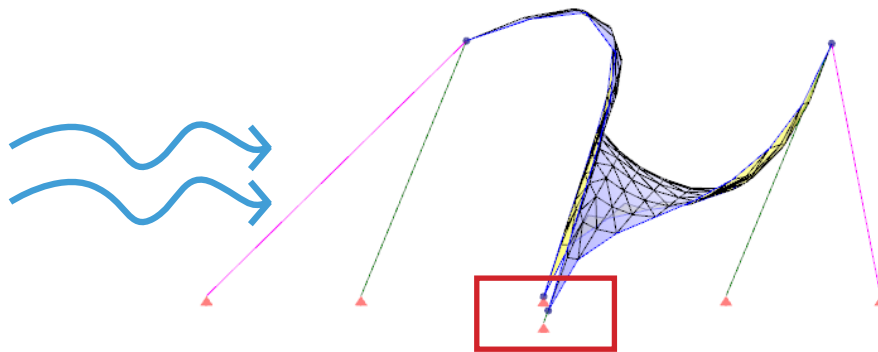
☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 40 Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 513 (1-146) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.4 kp (0.004 kN)

Coeficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 1.001 m

Longitud final = 1.002 m (+0.7 mm)

Fuerza axial = 0.689 t (6.89 kN)

Tensión = 4849 kp/cm² (484.9 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±54.70 kp/cm² (±5.5 N/mm²)

Tensión total = 4703.96 kp/cm² (470.4 N/mm²)

Ratio = 31.96

SENSOR #2			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	666.7	
	2.7	583.4	
	2.8	500.1	
Sensor 0°	2.9	416.77	291.66
Sensor 90°	3	333.44	208.33
	3.1	250.11	
Sensor 180°	3.2	125.11	0
	3.3	0.11	

Comparativa 6**SENSOR #3**

Sensor en cable

Posición: 90°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 40

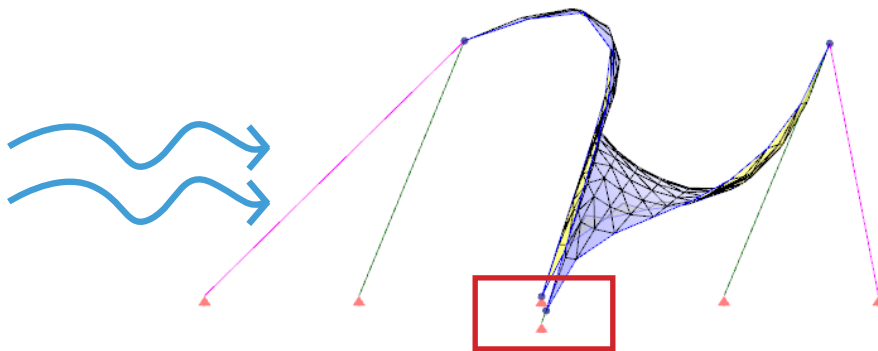
Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 513 (1-146) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.4 kp (0.004 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 1.001 m

Longitud final = 1.002 m (+0.7 mm)

Fuerza axial = 0.689 t (6.89 kN)

Tensión = 4649 kp/cm² (464.9 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±54.70 kp/cm² (±5.5 N/mm²)

Tensión total = 4703.96 kp/cm² (470.4 N/mm²)

Ratio = 31.96

SENSOR #3			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.67	
	1	833.34	
	1.1	750.01	
Sensor 0°	1.2	625.01	125
	1.3	500.01	
	1.4	250	
	1.5	125	
Sensor 90° y 180°	1.6	0	0

Comparativa 7**SENSOR #1**

Sensor en sujeción a base

Posición: 180°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 $\rho = 7.7 \text{ kg/m}^3$ ☐ Cp manual

☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 0

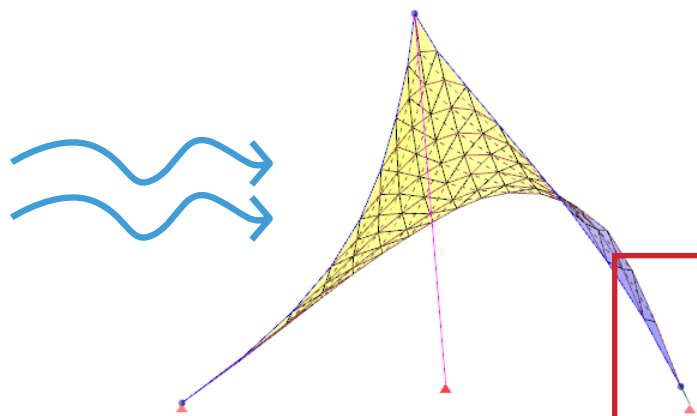
Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 515 (145-148) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

dTemp = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 0.010 m

Longitud final = 0.010 m (+0.0 mm)

Fuerza axial = 0.092 kg (0.92 N)

Tensión = 0 kp/cm² (0.0 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±0.00 kp/cm² (±0.0 N/mm²)

Tensión total = 0.19 kp/cm² (0.0 N/mm²)

Ratio = 0.00

SENSOR #1			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.9	1000	
	1	964.29	
	1.1	928.58	
	1.2	892.87	
	1.3	857.16	
	1.4	821.45	
	1.5	785.74	
	1.6	750.03	
	1.7	700.03	
	1.8	650.03	
	1.9	600.03	
	2	550.03	
	2.1	500.03	
Sensor 0° y 90°	2.2	450.03	150
	2.3	400.03	
	2.4	350.03	
	2.5	300.03	
Sensor 180°	2.6	250	-50.03
	2.7	125	
	2.8	0	

Comparativa 8**SENSOR #1**

Sensor en sujeción a base

Posición: 180°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 $\rho = 7.7 \text{ kg/m}^3$ ☐ Cp manual

Viento Y (km/h) 0

☐ Velocidad básica

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

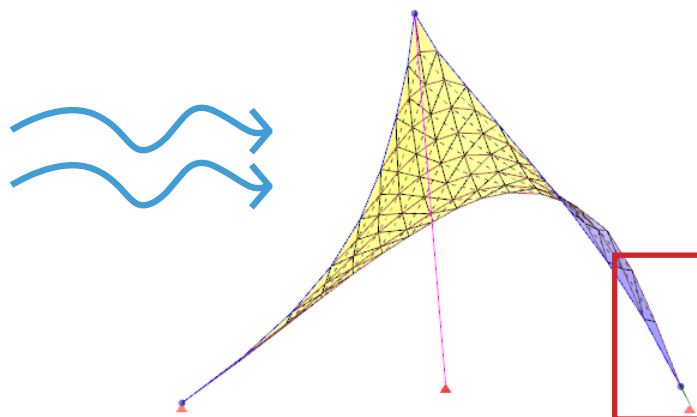
180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0

Presión interna (kg/m²) 0

Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 515 (145-148) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

diempo = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 0.010 m

Longitud final = 0.010 m (+0.0 mm)

Fuerza axial = 0.092 kg (0.92 N)

Tensión = 0 kp/cm² (0.0 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±0.00 kp/cm² (±0.0 N/mm²)

Tensión total = 0.19 kp/cm² (0.0 N/mm²)

Ratio = 0.00

SENSOR #2			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	2.1	1000	
	2.2	937.5	
	2.3	875	
	2.4	812.5	
	2.5	750	
	2.6	666.7	
	2.7	583.4	
	2.8	500.1	
Sensor 0°	2.9	416.77	291.66
Sensor 90°	3	333.44	208.33
	3.1	250.11	
Sensor 180°	3.2	125.11	0
	3.3	0.11	

Comparativa 9

SENSOR #1

Sensor en sujeción a base

Posición: 180°

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 40 $\rho = 7.7 \text{ kg/m}^3$ ☐ Cp manual

Viento Y (km/h) 0

☐ Velocidad básica

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

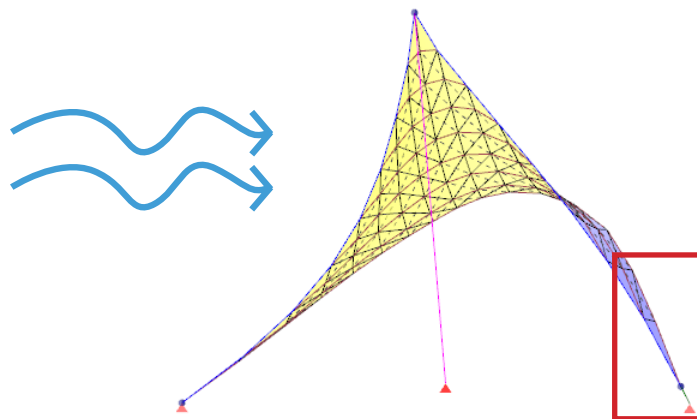
180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0

Presión interna (kg/m²) 0

Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok



Barras

Barra 515 (145-148) Tubo = Ø8_Tubomaderadeba

0 - Tubo (tracción y compresión)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 2100. t/cm² (210 kN/mm²)

Sección = 0.503 cm²

Densidad = 7.85 t/m³ (78.5 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.000011

diempo = 0°

0 - Tubo (tracción y compresión)

Longitud inicial = 0.010 m

Longitud final = 0.010 m (+0.0 mm)

Fuerza axial = 0.092 kg (0.92 N)

Tensión = 0 kp/cm² (0.0 N/mm²)

Tensión a flexión por peso propio = ±0.00 kp/cm² (±0.0 N/mm²)

Tensión total = 0.19 kp/cm² (0.0 N/mm²)

Ratio = 0.00

SENSOR #3			
Sensor en articulación a base			
Posición	Voltaje resultante	Gramos	Valor real
	0.8	1000	
	0.9	916.67	
	1	833.34	
	1.1	750.01	
Sensor 0°	1.2	625.01	125
	1.3	500.01	
	1.4	250	
	1.5	125	
Sensor 90° y 180°	1.6	0	0

Resumen de resultados de comparativa de pruebas de túnel de viento con los 3 sensores y el modelo de Wintess, colocación del sensor en sujeción a base.

Resultado de prueba de túnel de viento				
Sensor colocado en sujeción a base				
Tipo de estudio	Posicion	Sensor #1	Sensor #2	Sensor #3
Túnel de viento	0º	150	291.6	125
Resultado de Wintess		89	89	89
Túnel de viento	90º	150	208.33	0
Resultado de Wintess		689	689	689
Túnel de viento	180º	-50.03	0	0
Resultado de Wintess		92	92	92

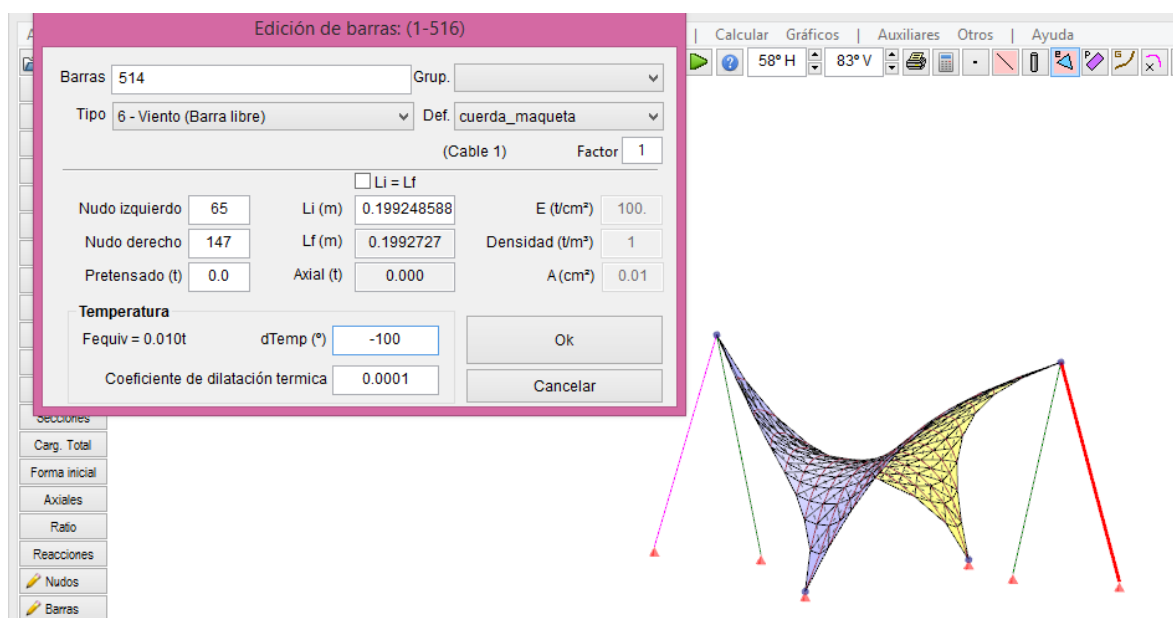
En el caso de la colocación del sensor en la articulación de sujeción a base podemos observar que los resultados de Wintess arrojaron cifras muy altas de esfuerzos en la posición 90º, siendo estos mayores al resto de las posiciones, resultados que no ocurren en las pruebas de túnel de viento.

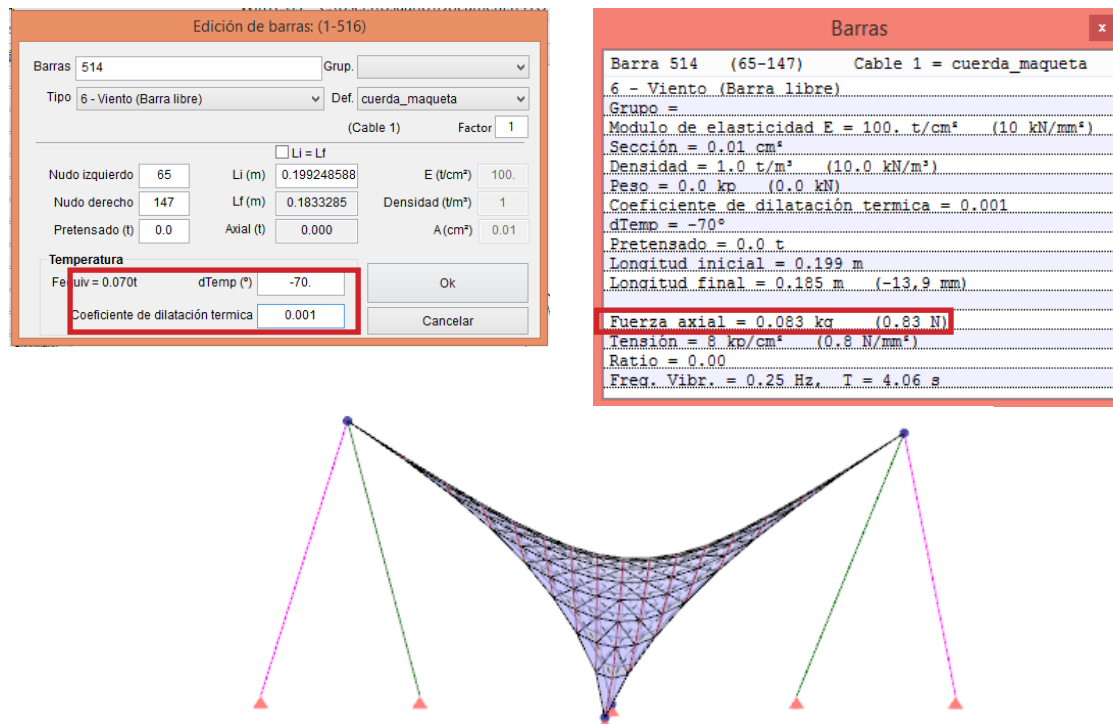
La precisión de los 3 sensores no fueron capaces de diferenciar de tal manera como en el análisis de Wintess el comportamiento en diferentes posiciones, como se puede observar en los resultados del sensor 2 y 3 en la posición 180º.

Este último proceso en el análisis y comparativa de comportamiento frente al viento en el paraboloide hiperbólico es realizado al modificar los datos del modelo de Wintess. El propósito de esta última parte es saber si con la pretensión dada al modelo, descubierta posteriormente al análisis de los resultados, ésta puede ser representada de igual forma en el modelo de Wintess y saber si la estructura podría seguir en equilibrio aún con la pretensión dada.

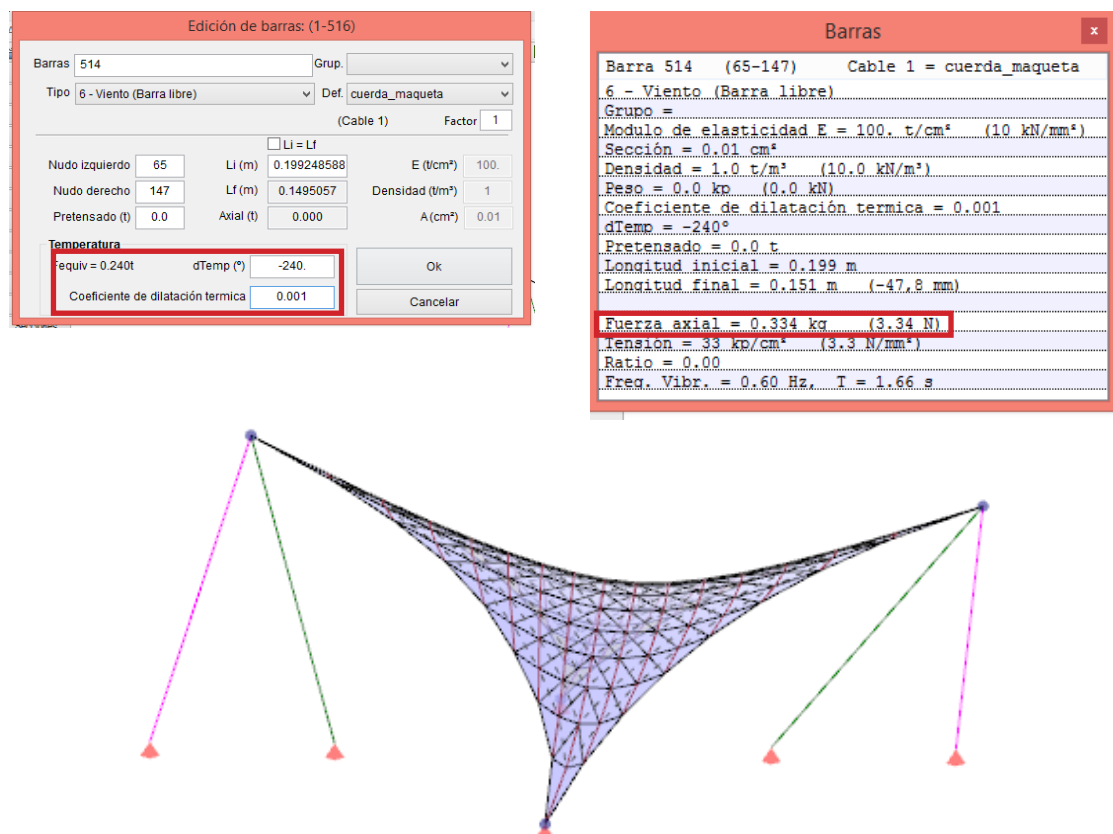
Los siguientes resultados fueron los obtenidos a modo de prueba y error para lograr identificar la temperatura necesaria aplicable al cable para lograr la pretensión que fue dada en el modelo flexible. Así como también se pueden observar los niveles de deformación del modelo dependiendo de la cantidad de esta.

Al final, éstos tres resultados de la comparativa entre el modelo y el de Wintess fue satisfactorio. Se pudo lograr la estabilidad de las estructuras sin acción de viento y con el nivel de pretensado real. Sin embargo, solamente se pudo analizar en las reacciones del cable tensionado. En la reacción donde se colocó el sensor en la articulación de unión a la base el programa no logró obtener algún resultado. Después de intentar varias veces el cambio de datos en las acciones de viento y la temperatura en la barra el programa no respondió ante tal detalle. Es posible que esto sea debido al hecho que este no está diseñado para cargas tan pequeñas.





Para encontrar el equilibrio en el paraboloide modelado en el programa con la pretensión utilizada en el modelo flexible es necesario enfriar el cable -70 grados y lograr una pretensión de 83 gramos.



Para encontrar el equilibrio en el paraboloide modelado en el programa con la pretensión utilizada en el modelo flexible es necesario enfriar el cable -240 grados y lograr una pretensión de 334 gramos.

Edición de barras: (1-516)

Barras: 514 Grup.: ▼

Tipo: 6 - Viento (Barra libre) Def: cuerda_maqueta ▼

(Cable 1) Factor: 1

☐ Li = Lf

Nudo izquierdo	65	Li (m)	0.199248588	E (t/cm ²)	100.
Nudo derecho	147	Lf (m)	0.1097075	Densidad (t/m ³)	1
Pretensado (t)	0.0	Axial (t)	0.001	A (cm ²)	0.01

Temperatura

Fequiv = 0.460t dTemp (°) -460

Coefficiente de dilatación termica 0.001

Ok Cancelar

Barras

Barra 514 (65-147) Cable 1 = cuerda_maqueta

6 - Viento (Barra libre)

Grupo =

Modulo de elasticidad E = 100. t/cm² (10 kN/mm²)

Sección = 0.01 cm²

Densidad = 1.0 t/m³ (10.0 kN/m³)

Peso = 0.0 kp (0.0 kN)

Coefficiente de dilatación termica = 0.001

dTemp = -460°

Pretensado = 0.0 t

Longitud inicial = 0.199 m

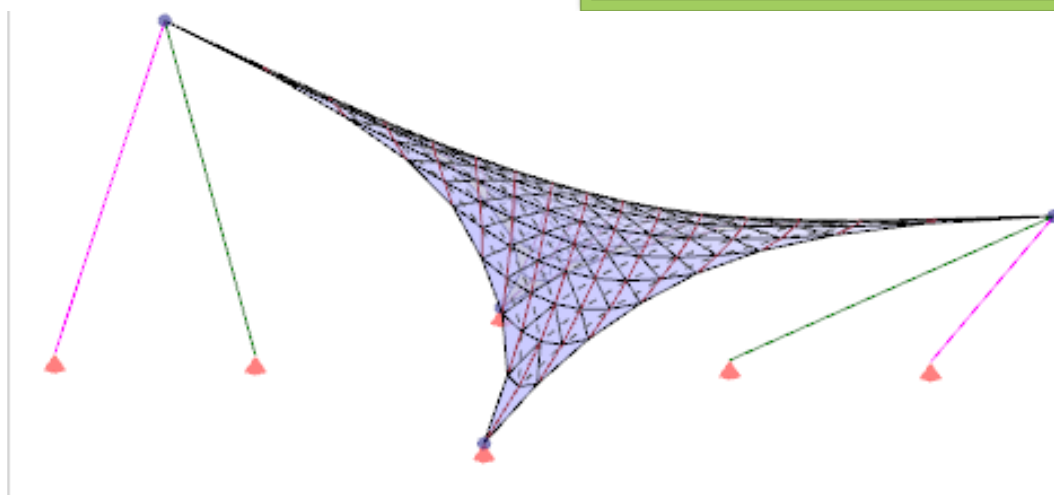
Longitud final = 0.108 m (-91.5 mm)

Fuerza axial = 0.624 kg (6.24 N)

Tension = 62 kp/cm² (6.2 N/mm²)

Ratio = 0.00

Freq. Vibr. = 1.16 Hz, T = 0.86 s



Para encontrar el equilibrio en el paraboloide modelado en el programa con la pretensión utilizada en el modelo flexible es necesario enfriar el cable -450 grados y lograr una pretensión de 624 gramos.

14

CONCLUSIONES

El proceso de estudio del viento sobre en particular las estructuras tipo paraboloide hiperbólico, protagonistas de este trabajo son un tema fascinante de la arquitectura moderna. De acuerdo con los estudios, investigaciones y pruebas que realicé estos son algunos puntos con los que puedo concluir el trabajo.

Dado que esta metodología de trabajo fue puramente experimental, desde un inicio se debían ir afrontando obstáculos e innovar con soluciones asequibles para realizar el estudio del tema. Desde el inicio de la propuesta de materiales para la colocación del sensor (el caucho), éste fue elegido gracias a sus propiedades elásticas. La razón por la que se eligieron 3 grosores diferentes fue para tener opciones de superficies más o menos elásticas de acuerdo a su grosor dependiendo de la fuerza del viento que el ventilador produciría. El hecho que uno fuese más elástico que otro podía permitirnos observar cambios visualmente y numéricamente más fácil. Dicha hipótesis fue correcta, de acuerdo a las comparativas en las tablas de los resultados de las pruebas.

Aún y que el comportamiento de los 3 sensores fue el mismo, reflejado en las gráficas, el nivel de detalle numéricamente fue distinto. Lo que nos permite o limita la precisión de los resultados obtenidos. Ya que el túnel de viento con el que contamos en la universidad carece de un difusor que puede regular la velocidad del viento, no se pudo probar la eficacia de los 3 sensores a diferentes velocidades, por tanto los resultados fueron siempre a la velocidad de 40 km/hr.

En cuanto al tema de resultados de las pruebas, es notable el mismo comportamiento físicamente del modelo. En la posición de 0° siendo la más afectada para paulatinamente reducir la incidencia del viento en la siguiente de 90° y de 180°. Numéricamente, fue difícil la comparativa entre un sensor y otro ya que la pretensión utilizada al colocar los diferentes sensores no fue controlada desde un principio. Factor que se apreció al analizar en la última etapa de los estudios. La única manera de comparar realmente la incidencia del viento real, sin contemplar la pretensión fue restandole dicha cantidad a los resultados para posteriormente compararlos unos con otros.

Gracias a este factor descubierto en la última etapa del estudio, durante la comparativa en el programa Wintess, después de haber reproducido el mismo modelo con medidas reales. Se logró simular la pretensión dada al modelo real. De esta forma se pudo saber la temperatura necesaria para lograr dicha pretensión en el cable tensionado y comprobar que la estructura estuviese en equilibrio de igual forma, todo esto sin la influencia del viento en el programa.

En cuanto a las comparativas de las pruebas y las simulaciones en Wintess, se puede concluir que éstas carecen de similitud en las reacciones de las barras en la mayoría de éstas, tanto en las pruebas de la colocación del sensor en el cable como en la colocación a la sujeción a la base. Realmente los resultados más parecidos fueron los de las posiciones de 180°, en los que difiere muy poco la cantidad de gramos, aunque siguen siendo diferentes los resultados.

Es difícil también lograr el correcto estudio y precisión de las comparativas ya que el programa de Wintess, no está adecuado ni preparado para analizar cargas tan pequeñas como son los gramos. Así como también medidas en centímetros, como fueron las utilizadas en el modelo flexible. Durante el análisis del equilibrio del modelo gracias a la pretensión, el rendimiento del programa se mostró limitado ante dichos datos.

La dilatación térmica que se utilizó para todas las pruebas en las diferentes orientaciones del viento sobre el modelo no se mantenían al momento de hacer una y otra prueba, dato que de manera habitual si permanece el mismo durante el uso del programa con estructuras de tamaño real. Durante estas pruebas, solamente se pudo analizar las reacciones del sensor en el cable tensionado, las otras pruebas del sensor en la sujeción a la base también se vio limitado el programa a realizar la comprobación del equilibrio al modificar las temperaturas de dicha barra, por tanto no se pudieron realizar estas comprobaciones.

Los resultados obtenidos durante éste trabajo son solamente la primera prueba de la metodología y de los tipos de materiales utilizados. Estos al tener muchas vertientes, opciones, y elementos singulares modificables pueden ser los causantes de las discrepancias en los resultados. Muchos factores como por ejemplo, el tipo de cola utilizado, el material elegido para la colocación, el tipo de cable utilizado, el tamaño de la maqueta, etc, influyen en los resultados finales y si existiese algún cambio en los factores es posible diferentes resultados.

Existe mucho campo de estudio para el análisis de las estructuras tensadas en muchos ámbitos diferentes. Con la realización de este trabajo es posible dictar más temas de investigación a futuro para la mejora de esta metodología de estudio y el análisis y comprensión de los resultados obtenidos para mas trabajos finales de máster o para un futuro estudio doctoral.

Tales líneas podrían ser:

1. Realización de pruebas y comparativas iniciando con la misma pretensión en cada uno de los sensores.
2. Análisis y mejoras informáticas para el programa Wintess y su funcionamiento a escalas pequeño-medianas junto en combinación propiamente con las cargas en gramos.
3. Análisis y desarrollo de una comparativa extensa de resultados entre pruebas de túnel de viento y Wintess bajo la metodología desarrollada en este trabajo.
4. Pruebas en túnel de viento a diferentes velocidades utilizando la misma metodología y sensores y analizar las posibles variaciones y elección de cada sensor para cada situación necesaria.
5. Estudio de diferentes tipos de cubiertas, no solo el paraboloide hiperbólico sino el resto de los tipos de estructuras anticlásticas bajo la metodología desarrollada en este trabajo.

15

Anexos

15.1 Primeras pruebas de calibración de sensores

Experimento para calibración de sensor #1

El primer número en reposo sin antes haberle puesto carga al sensor era de 3. Una vez que se le agrego 1kg de carga este en sus primeros 2 intentos marco 1.8. Sin embargo en el tercer intento al poner la misma cantidad de peso este marcaba 1.9, después de 2 minutos ha descendido a 1.8. Después de haber aplicado la carga, en todas las veces el estado de reposo del sensor era 2.9, la posible causa es la fluencia del material por tanto su estiramiento irreversible costo un décimo de la marca. En el 4to intento con peso de 1kg la pieza de unión con el caucho y la cuerda ha roto. Después de esto se reparó con el mismo pegamento y la misma pieza.

MUESTRA #1 01/02/2016					
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
1000 gramos	1.8	1.8	1.9	2.8 (rotura de soporte)	
750 gramos					
500 gramos					
250 gramos					
0 gramos	3				
Fluencia despues de pruebas	2.9				

Experimento para calibración de sensor #2

El primer intento de experimentación de peso en reposo el sensor marcaba 4.5. Una vez puesta la carga este índico 3.5 Una vez retirada la carga debatía en regresar a 4.5 o 4.4. Al cabo de dos minutos se ha estabilizado a 4.5. El segundo intento después de 2 minutos con el peso de 1000 gr. el marcador fue de 3.4 . Después de la prueba 3 una vez retirado el peso este se ha debatido entre 4.4 y 4.3.

La prueba 4 ha dado un importante salto de marcar 3.4 a 2.2. Esto es un cambio considerable y de dudosa fiabilidad del grosor del material sobre el que el sensor ha sido puesto. La recuperación del material indico 3.1 también siendo muy diferente que las pruebas anteriores. En la prueba 5, el material indico 2.1, dato parecido al anterior. Al retirar el peso la muestra marco 2.9 un descenso de marcación referente a la prueba pasada.

En este caso se realizó una prueba más para comparar los datos obtenidos. En esta prueba 6 obteniendo 2.0 al agregarle 1kg de peso. Al retirarle el peso el material regreso a 2.9 como en las últimas tres pruebas.

Experimento para calibración de sensor #3

En la primera prueba con la muestra más gruesa, en reposo esta marcaba 5.0 inicialmente sin carga. Una vez puesta la carga de 1kg. Esta marco un descenso hasta 4.7. Al quitar la carga rápidamente recobro su fluencia el material y regreso a 5.0. A diferencia de la primera prueba el material sufrió de menos fluencia, registrando 4.8. Como en la prueba anterior recupero su marcador inicial al instante en 5.0. En la última prueba el material fluyo hasta 2.0, posiblemente algún fallo con la muestra completa ya que al quitarle la carga esta no regreso hasta los 5.0 como anteriormente vimos.

MUESTRA #3 01/02/2016					
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
1000	4.7	4.8	4.8	4.8	2
1000 Prueba 18 Marzo	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5
0 gramos	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
750 gramos	1	1	1	1	1
0 gramos	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
500 gramos					
0 gramos					
250 gramos	5				
0 gramos	5				

Pruebas 18 de Marzo, sensor #1 y sensor #3

El día de hoy 18 de Marzo, al intentar retomar las pruebas, los sensores 1 y 3 no muestran ninguna alteración en estado de reposo ni con la carga aplicada. Es necesario revisar las herramientas y el software para saber el porqué de esto.

Pruebas 18 de Marzo, sensor #2

En las primeras dos pruebas con la muestra 2 se registró en reposo en 4.7 u. y con carga, una reducción a 3.9, comparado con la unidad inicial, al agregar la carga de 1000 gr., era de esperarse un incremento en el número por la reducción de carga, esto se cumplió. El material recupera rápidamente su fluencia a 4.3 en ambas veces. En las siguientes pruebas 4, 5 y 6 resultaron las mismas cantidades tanto en la retracción de material como con carga, por tanto este peso resulto estable en todos los sentidos. Al ver los resultados de la primera parte con la carga de 1 kg. He decidido volver a realizar la prueba con el sensor 2 y con carga de 1kg de nuevo, las cifras me parecían tener anomalías.

MUESTRA #2 01/02/2016						
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
1000 Prueba 16 Marzo	3.5	3.4	3.4	2.2	2.1	2
1000 Prueba 18 Marzo	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
0 gramos	4.4	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
750 gramos	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
0 gramos	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
500 gramos	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
0 gramos	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4
250 gramos	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
0 gramos	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
Fluencia despues de pruebas	4.4 a 2.9					

Pruebas 18 de Marzo, sensor #3

Después de verificar, el motivo por el que no leía bien las diferencias de carga era por el pegado al caucho. Procedí a realizar de nuevo las pruebas con todas las cargas. A diferencia en el sensor 3, en reposo se presentó con 2.5 en constante. Una vez puesta la carga en las 5 pruebas se mostró 2.6 en la primera y en las 4 restantes disminuyo a 2.5

MUESTRA #3 01/02/2016					
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
1000	4.7	4.8	4.8	4.8	2
1000 Prueba 18 Marzo	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5
0 gramos	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
750 gramos	1	1	1	1	1
0 gramos	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
500 gramos					
0 gramos					
250 gramos	5				
0 gramos	5				

Pruebas 14 de Abril

Este día se intentó hacer pruebas de calibración de las muestras. El hardware y software no estaba respondiendo de manera correcta. En la pantalla en el programa Arduino se observaban alteraciones en el voltaje de salida sin ningún sentido, el número no se quedaba fijo en ningún momento por tanto había algún fallo en el desarrollo de esto. Al conectar la muestra, encender la máquina y abrir el puerto este marcaba la cifra de inicio en 5.00u. Al mover la muestra no se percibía ningún cambio en la numeración.

Posteriormente se pudo observar que era cuestión de algún fallo en la fuente de alimentación de la máquina. Esta de continuar así debe ser reemplazada. En cambio el tema del salto de numeración de registro se debió la interferencia producida por el ratón inalámbrico conectado al portátil que se utiliza para las pruebas, una vez apagado y retirado la señal no fue interrumpida por tanto normal.

Pruebas 22 de Abril de 2016

Durante las pruebas que se realizaron a la muestra #2, el comportamiento del hardware ya fue normalizado. Se probó la calibración de la muestra de igual forma con 1 kg. Progresivamente se fue reduciendo la carga hasta llegara a 250 gr y en todo momento se constataba la medición a 0 kg. , esto para comprobar el comportamiento de la elasticidad del material.

El periodo de prueba es aproximadamente de 5 – 7 seg. Con la carga puesta, al retirarle la carga he dejado aproximadamente 10 – 15 segundos de intervalo entre las pruebas para poder registrar la recuperación de la elasticidad del material según sea el caso.

En las pruebas se registró una mínima perdida de elasticidad de material de 3.4 a 3.3 unidades. La duración de las pruebas fue de 30 min. Por lo que en ese tiempo la muestra #2 resulto estable.

Una vez realizada la calibración de esta muestra, proseguí a probarlo directamente en el túnel de viento. Esta primera prueba pretendía comprobar si los sensores eran capaces de registrar algún cambio en el comportamiento del modelo flexible. La prueba duro aproximadamente 30 segundos. Al encender el ventilador y sostener la maqueta en ángulo recto esta registraba poca alteración en la muestra. Al intentar bajar el ángulo aproximadamente a 45° se registraron mucha diferencia de unidades.

La marcación del sensor en reposo inicio con 3.2/3.3 y bajo la influencia del viento a 40 km/hr en promedio este descendió a 2.8 unidades. De acuerdo a la calibración que se realizó una hora antes para confirmar la fiabilidad de la muestra, se puede distinguir el rango de localización de la presión registrada conforme a la tabla.

MUESTRA #2 01/02/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 22 Abril 2016	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
0 gramos	3.4	3.4	3.4	3.3/3.4	3.3/3.4	3.3/3.4	3.3/3.4	3.3	3.3	3.3
750 gramos	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
0 gramos	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
500 gramos	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0 gramos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
250 gramos	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
0 gramos	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Fluencia del material	3.4 a 3.3									

Pruebas 27 de Abril 2016

Estas pruebas se realizaron a la muestra #1, la del grosor más pequeño. Así como en las pruebas del día 22 también se realizó el mismo procedimiento de agregarle peso minorando la carga 250 gramos cada vez.

Durante la fase de pruebas de 1000 gramos, la muestra mostro una significativa fluencia de material. Del punto de inicio que fue 2.8 unidades, el material en la segunda prueba registro un descenso a 2.0, sin embargo en las pruebas siguientes estas unidades fueron ascendiendo, es decir, el material al ser más elástico se acerca más a la unidad de inicio que era 2.8. Su punto máximo de fluencia fue de 2.5, por tanto registrando una diferencia de 5 decimales.

Eventualmente en las siguientes pruebas con menos carga la fluencia del material se mantuvo mucho más estable, variando durante las 10 pruebas 1 o dos.

La muestra al finalizar las pruebas estaba registrando en reposo 2.9 unidades, es decir, se registró una pérdida de 1 decimal de unidad con respecto a la unidad de inicio que fue 2.8 u.

MUESTRA #1 13/04/2016										
PESO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
1000 gramos 27 Abril 2016	1.7	2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5
0 gramos	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
750 gramos	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
0 gramos	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
500 gramos	2.5	2.5	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
0 gramos	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9
250 gramos	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
0 gramos	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Fluencia del material	2.7a 2.9									

Una vez terminada la calibración de las pruebas, por recomendación del tutor Ramón Sastre, es importante probar el sensor en la maqueta directamente sin la actuación del viento y corroborar su comportamiento y la elasticidad del material.

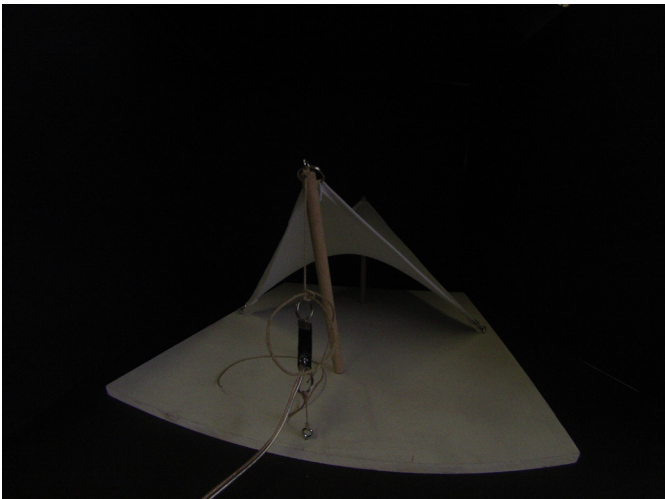
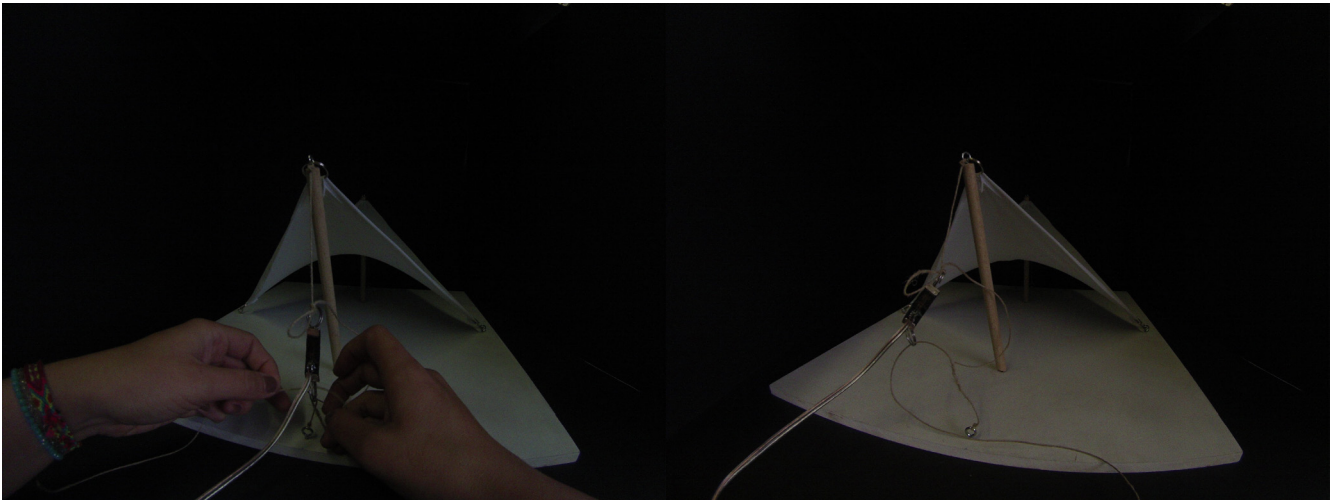
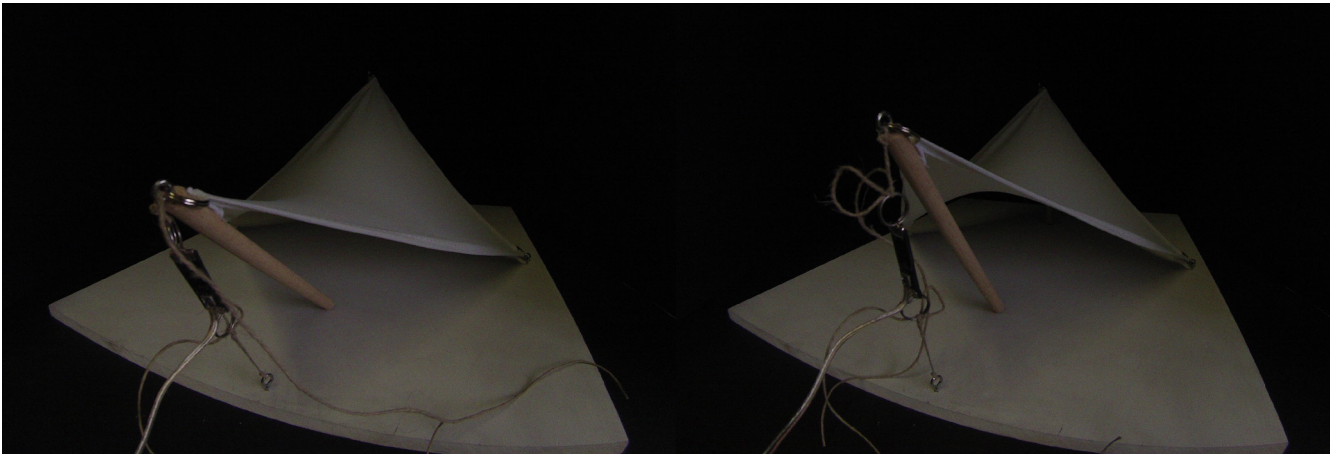
Durante las pruebas con la muestra #1 la unidad de inicio fue de 2.8, una vez posicionada la muestra entre el mástil y el punto de empotramiento de la cuerda que simula el cable este se pretensaba por el otro mástil para evitar movimiento del sensor asi como poder controlar el nivel de pretensado que se le daría.

Durante las primeras 2 pruebas que duraban aproximadamente 2 minutos, aunque se pretensara la membrana no se registraba ningún cambio en el sensor, este seguía estando en 2.8 unidades.

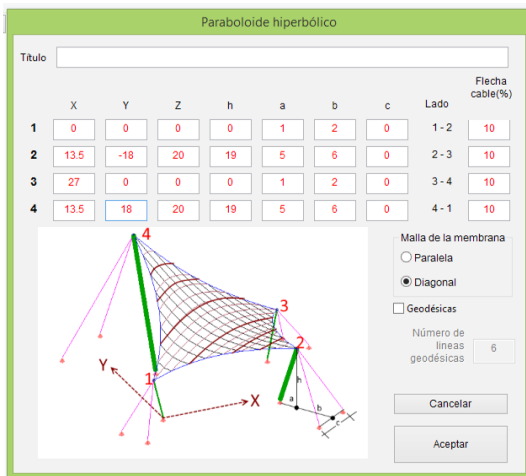
En la prueba 3, se pretensó la membrana a su máxima posibilidad debido a sus dimensiones. De 2.8 unidades al inicio el pretensado hizo que bajara a 2.7 u. Esta unidad se mantuvo durante el tiempo de la prueba, que fue de 2 min. Al intento de la 4ta prueba, la muestra mostro el desprendimiento de la galga del caucho debido al manejo de esta y la sensibilidad con la que se tiene que trabajar las muestras.

PRUEBA EN MAQUETA MUESTRA #1 13/04/2016								
	En reposo	Pretensado	5 seg	10 seg	15 seg	20 seg.	25 seg.	60 seg.
PRUEBA 1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
PRUEBA 2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
PRUEBA 3	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
PRUEBA 4	2.7	Desprendimiento de galga de la muestra despues del cuarto intento, ya no registraba mas tensión						

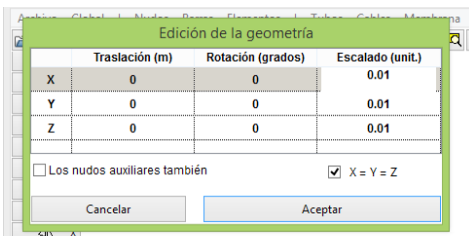
PRUEBA EN MAQUETA MUESTRA #1 13/04/2016								
	En reposo	Pretensado	5 seg	10 seg	15 seg	20 seg.	25 seg.	60 seg.
PRUEBA 1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
PRUEBA 2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
PRUEBA 3	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
PRUEBA 4	2.7	Desprendimiento de galga de la muestra despues del cuarto intento, ya no registraba mas tensión						



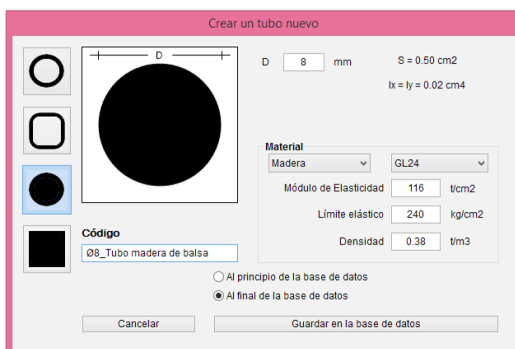
15.2 Proceso para creación de modelo en el software Wintess



Se inicia el documento con las dimensiones del modelo flexible utilizado para las pruebas en el túnel de viento.



Posteriormente se escala el modelo globalmente, de modo que se estudie todo en centímetros y no metros como el programa está diseñado.



Una vez que se tiene el modelo con los nudos a su distancia correcta así como también el número de cables es necesario modificar los parámetros característicos de los elementos que conforman la estructura. En este caso creamos un tubo nuevo de las dimensiones reales del modelo flexible y elegimos el tipo de material lo más parecido posible.

Tubos (Num.Tub = 2)

Num	Barra	Rig.	Código	Axial (t)	Tensión (kg/cm²)	Ratio
1	515		00_Tubo-madera-de-ba	0.000	43.8	1.00
2	515		00_Tubo-madera-de-ba	0.000	43.8	1.00

Asignamos el tipo de tubo a los dos mástiles propuestos en el modelo.

C:\Users\Usuario\AppData\Roaming\WinTess3\cables.txt

Sec	Carg. Sonora (kN)	Nombre	E (kN/mm²)	Densidad
9	9.6	1x19-(4mm) Inox	198.0	7.85
10	21.5	1x19-(6mm) Inox	198.0	7.85
11	38.2	1x19-(8mm) Inox	198.0	7.85
12	59.7	1x19-(10mm) Inox	198.0	7.85
13	86.0	1x19-(12mm) Inox	198.0	7.85
14	117.0	1x19-(14mm) Inox	198.0	7.85
15	151.0	1x19-(16mm) Inox	198.0	7.85
16	181.0	1x19-(18mm) Inox	198.0	7.85
17	206.0	1x19-(20mm) Inox	198.0	7.85
18	228.0	1x19-(22mm) Inox	198.0	7.85
19	246.0	1x19-(24mm) Inox	198.0	7.85
20	261.0	1x19-(26mm) Inox	198.0	7.85
21	272.0	1x19-(28mm) Inox	198.0	7.85
22	281.0	1x19-(30mm) Inox	198.0	7.85
23	288.0	1x19-(32mm) Inox	198.0	7.85
24	293.0	1x19-(34mm) Inox	198.0	7.85
25	296.0	1x19-(36mm) Inox	198.0	7.85
26	298.0	1x19-(38mm) Inox	198.0	7.85
27	299.0	1x19-(40mm) Inox	198.0	7.85
28	300.0	1x19-(42mm) Inox	198.0	7.85
29	300.0	1x19-(44mm) Inox	198.0	7.85
30	300.0	1x19-(46mm) Inox	198.0	7.85
31	300.0	1x19-(48mm) Inox	198.0	7.85
32	300.0	1x19-(50mm) Inox	198.0	7.85
33	300.0	1x19-(52mm) Inox	198.0	7.85
34	300.0	1x19-(54mm) Inox	198.0	7.85
35	300.0	1x19-(56mm) Inox	198.0	7.85
36	300.0	1x19-(58mm) Inox	198.0	7.85
37	300.0	1x19-(60mm) Inox	198.0	7.85
38	300.0	1x19-(62mm) Inox	198.0	7.85
39	300.0	1x19-(64mm) Inox	198.0	7.85
40	300.0	1x19-(66mm) Inox	198.0	7.85
41	300.0	1x19-(68mm) Inox	198.0	7.85
42	300.0	1x19-(70mm) Inox	198.0	7.85
43	300.0	1x19-(72mm) Inox	198.0	7.85
44	300.0	1x19-(74mm) Inox	198.0	7.85
45	300.0	1x19-(76mm) Inox	198.0	7.85
46	300.0	1x19-(78mm) Inox	198.0	7.85
47	300.0	1x19-(80mm) Inox	198.0	7.85
48	300.0	1x19-(82mm) Inox	198.0	7.85
49	300.0	1x19-(84mm) Inox	198.0	7.85
50	300.0	1x19-(86mm) Inox	198.0	7.85
51	300.0	1x19-(88mm) Inox	198.0	7.85
52	300.0	1x19-(90mm) Inox	198.0	7.85
53	300.0	1x19-(92mm) Inox	198.0	7.85
54	300.0	1x19-(94mm) Inox	198.0	7.85
55	300.0	1x19-(96mm) Inox	198.0	7.85
56	300.0	1x19-(98mm) Inox	198.0	7.85
57	300.0	1x19-(100mm) Inox	198.0	7.85
58	300.0	1x19-(102mm) Inox	198.0	7.85
59	300.0	1x19-(104mm) Inox	198.0	7.85
60	300.0	1x19-(106mm) Inox	198.0	7.85
61	300.0	1x19-(108mm) Inox	198.0	7.85
62	300.0	1x19-(110mm) Inox	198.0	7.85
63	300.0	1x19-(112mm) Inox	198.0	7.85
64	300.0	1x19-(114mm) Inox	198.0	7.85
65	300.0	1x19-(116mm) Inox	198.0	7.85
66	300.0	1x19-(118mm) Inox	198.0	7.85
67	300.0	1x19-(120mm) Inox	198.0	7.85
68	300.0	1x19-(122mm) Inox	198.0	7.85
69	300.0	1x19-(124mm) Inox	198.0	7.85
70	300.0	1x19-(126mm) Inox	198.0	7.85
71	300.0	1x19-(128mm) Inox	198.0	7.85
72	300.0	1x19-(130mm) Inox	198.0	7.85
73	300.0	1x19-(132mm) Inox	198.0	7.85
74	300.0	1x19-(134mm) Inox	198.0	7.85
75	300.0	1x19-(136mm) Inox	198.0	7.85
76	300.0	1x19-(138mm) Inox	198.0	7.85
77	300.0	1x19-(140mm) Inox	198.0	7.85
78	300.0	1x19-(142mm) Inox	198.0	7.85
79	300.0	1x19-(144mm) Inox	198.0	7.85
80	300.0	1x19-(146mm) Inox	198.0	7.85
81	300.0	1x19-(148mm) Inox	198.0	7.85
82	300.0	1x19-(150mm) Inox	198.0	7.85
83	300.0	1x19-(152mm) Inox	198.0	7.85
84	300.0	1x19-(154mm) Inox	198.0	7.85
85	300.0	1x19-(156mm) Inox	198.0	7.85
86	300.0	1x19-(158mm) Inox	198.0	7.85
87	300.0	1x19-(160mm) Inox	198.0	7.85
88	300.0	1x19-(162mm) Inox	198.0	7.85
89	300.0	1x19-(164mm) Inox	198.0	7.85
90	300.0	1x19-(166mm) Inox	198.0	7.85
91	300.0	1x19-(168mm) Inox	198.0	7.85
92	300.0	1x19-(170mm) Inox	198.0	7.85
93	300.0	1x19-(172mm) Inox	198.0	7.85
94	300.0	1x19-(174mm) Inox	198.0	7.85
95	300.0	1x19-(176mm) Inox	198.0	7.85
96	300.0	1x19-(178mm) Inox	198.0	7.85
97	300.0	1x19-(180mm) Inox	198.0	7.85
98	300.0	1x19-(182mm) Inox	198.0	7.85
99	300.0	1x19-(184mm) Inox	198.0	7.85
100	300.0	1x19-(186mm) Inox	198.0	7.85
101	300.0	1x19-(188mm) Inox	198.0	7.85
102	300.0	1x19-(190mm) Inox	198.0	7.85
103	300.0	1x19-(192mm) Inox	198.0	7.85
104	300.0	1x19-(194mm) Inox	198.0	7.85
105	300.0	1x19-(196mm) Inox	198.0	7.85
106	300.0	1x19-(198mm) Inox	198.0	7.85
107	300.0	1x19-(200mm) Inox	198.0	7.85
108	300.0	1x19-(202mm) Inox	198.0	7.85
109	300.0	1x19-(204mm) Inox	198.0	7.85
110	300.0	1x19-(206mm) Inox	198.0	7.85
111	300.0	1x19-(208mm) Inox	198.0	7.85
112	300.0	1x19-(210mm) Inox	198.0	7.85
113	300.0	1x19-(212mm) Inox	198.0	7.85
114	300.0	1x19-(214mm) Inox	198.0	7.85
115	300.0	1x19-(216mm) Inox	198.0	7.85
116	300.0	1x19-(218mm) Inox	198.0	7.85
117	300.0	1x19-(220mm) Inox	198.0	7.85
118	300.0	1x19-(222mm) Inox	198.0	7.85
119	300.0	1x19-(224mm) Inox	198.0	7.85
120	300.0	1x19-(226mm) Inox	198.0	7.85
121	300.0	1x19-(228mm) Inox	198.0	7.85
122	300.0	1x19-(230mm) Inox	198.0	7.85
123	300.0	1x19-(232mm) Inox	198.0	7.85
124	300.0	1x19-(234mm) Inox	198.0	7.85
125	300.0	1x19-(236mm) Inox	198.0	7.85
126	300.0	1x19-(238mm) Inox	198.0	7.85
127	300.0	1x19-(240mm) Inox	198.0	7.85
128	300.0	1x19-(242mm) Inox	198.0	7.85
129	300.0	1x19-(244mm) Inox	198.0	7.85
130	300.0	1x19-(246mm) Inox	198.0	7.85
131	300.0	1x19-(248mm) Inox	198.0	7.85
132	300.0	1x19-(250mm) Inox	198.0	7.85
133	300.0	1x19-(252mm) Inox	198.0	7.85
134	300.0	1x19-(254mm) Inox	198.0	7.85
135	300.0	1x19-(256mm) Inox	198.0	7.85
136	300.0	1x19-(258mm) Inox	198.0	7.85
137	300.0	1x19-(260mm) Inox	198.0	7.85
138	300.0	1x19-(262mm) Inox	198.0	7.85
139	300.0	1x19-(264mm) Inox	198.0	7.85
140	300.0	1x19-(266mm) Inox	198.0	7.85
141	300.0	1x19-(268mm) Inox	198.0	7.85
142	300.0	1x19-(270mm) Inox	198.0	7.85
143	300.0	1x19-(272mm) Inox	198.0	7.85
144	300.0	1x19-(274mm) Inox	198.0	7.85
145	300.0	1x19-(276mm) Inox	198.0	7.85
146	300.0	1x19-(278mm) Inox	198.0	7.85
147	300.0	1x19-(280mm) Inox	198.0	7.85
148	300.0	1x19-(282mm) Inox	198.0	7.85
149	300.0	1x19-(284mm) Inox	198.0	7.85
150	300.0	1x19-(286mm) Inox	198.0	7.85
151	300.0	1x19-(288mm) Inox	198.0	7.85
152	300.0	1x19-(290mm) Inox	198.0	7.85
153	300.0	1x19-(292mm) Inox	198.0	7.85
154	300.0	1x19-(294mm) Inox	198.0	7.85
155	300.0	1x19-(296mm) Inox	198.0	7.85
156	300.0	1x19-(298mm) Inox	198.0	7.85
157	300.0	1x19-(300mm) Inox	198.0	7.85
158	300.0	1x19-(302mm) Inox	198.0	7.85
159	300.0	1x19-(304mm) Inox	198.0	7.85
160	300.0	1x19-(306mm) Inox	198.0	7.85
161	300.0	1x19-(308mm) Inox	198.0	7.85
162	300.0	1x19-(310mm) Inox	198.0	7.85
163	300.0	1x19-(312mm) Inox	198.0	7.85
164	300.0	1x19-(314mm) Inox	198.0	7.85
165	300.0	1x19-(316mm) Inox	198.0	7.85
166	300.0	1x19-(318mm) Inox	198.0	7.85
167	300.0	1x19-(320mm) Inox	198.0	7.85
168	300.0	1x19-(322mm) Inox	198.0	7.85
169	300.0	1x19-(324mm) Inox	198.0	7.85
170	300.0	1x19-(326mm) Inox	198.0	7.85
171	300.0	1x19-(328mm) Inox	198.0	7.85
172	300.0	1x19-(330mm) Inox	198.0	7.85
173	300.0	1x19-(332mm) Inox	198.0	7.85
174	300.0	1x19-(334mm) Inox	198.0	7.85
175	300.0	1x19-(336mm) Inox	198.0	7.85
176	300.0	1x19-(338mm) Inox	198.0	7.85
177	300.0	1x19-(340mm) Inox	198.0	7.85
178	300.0	1x19-(342mm) Inox	198.0	7.85
179	300.0	1x19-(344mm) Inox	198.0	7.85
180	300.0	1x19-(346mm) Inox	198.0	7.85
181	300.0	1x19-(348mm) Inox	198.0	7.85
182	300.0	1x19-(350mm) Inox	198.0	7.85
183	300.0	1x19-(352mm) Inox	198.0	7.85
184	300.0	1x19-(354mm) Inox	198.0	7.85
185	300.0	1x19-(356mm) Inox	198.0	7.85
186	300.0	1x19-(358mm) Inox	198.0	7.85
187	300.0	1x19-(360mm) Inox	198.0	7.85
188	300.0	1x19-(362mm) Inox	198.0	7.85
189	300.0	1x19-(364mm) Inox	198.0	7.85
190	300.0	1x19-(366mm) Inox	198.0	7.85
191	300.0	1x19-(368mm) Inox	198.0	7.85
192	300.0	1x19-(370mm) Inox	198.0	7.85
193	300.0	1x19-(372mm) Inox	198.0	7.85
194	300.0	1x19-(374mm) Inox	198.0	7.85
195	300.0	1x19-(376mm) Inox	198.0	7.85
196	300.0	1x19-(378mm) Inox	198.0	7.85
197	300.0	1x19-(380mm) Inox	198.0	7.85
198	300.0	1x19-(382mm) Inox	198.0	7.85
199	300.0	1x19-(384mm) Inox	198.0	7.85
200	300.0	1x19-(386mm) Inox	198.0	7.85
201	300.0	1x19-(388mm) Inox	198.0	7.85
202	300.0	1x19-(390mm) Inox	198.0	7.85
203	300.0	1x19-(392mm) Inox	198.0	7.85
204	300.0	1x19-(394mm) Inox	198.0	7.85
205	300.0	1x19-(396mm) Inox	198.0	7.85
206	300.0	1x19-(398mm) Inox	198.0	7.85
207	300.0	1x19-(400mm) Inox	198.0	7.85
208	300.0	1x19-(402mm) Inox	198.0	7.85
209	300.0	1x19-(404mm) Inox	198.0	7.85
210	300.0	1x19-(406mm) Inox	198.0	7.85
211	300.0	1x19-(408mm) Inox	198.0	7.85
212	300.0	1x19-(410mm) Inox	198.0	7.85
213	300.0	1x19-(412mm) Inox	198.0	7.85
214	300.0	1x19-(414mm) Inox	198.0	7.85
215	300.0	1x19-(416mm) Inox	198.0	7.85
216	300.0	1x19-(418mm) Inox	198.0	7.85
217	300.0	1x19-(420mm) Inox	198.0	7.85
218	300.0	1x19-(422mm) Inox	198.0	7.85
219	300.0	1x19-(424mm) Inox	198.0	7.85
220	300.0	1x19-(426mm) Inox	198.0	7.85
221	300.0	1x19-(428mm) Inox	198.0	7.85
222	300.0	1x19-(430mm) Inox	198.0	7.85
223	300.0	1x19-(432mm) Inox	198.0	7.85
224	300.0	1x19-(434mm) Inox	198.0	7.85
225	300.0	1x19-(436mm) Inox	198.0	7.85
226	300.0	1x19-(438mm) Inox	198.0	7.85
227	300.0	1x19-(440		

Cables						
Guardar	Inicializar	Ratio > 1	Eliminar	Crea	Imprimir	F=3 Export Excel (CSV) Cancelar
Num	Tipo	Longitud	Axial (t)	Código	Números de las barras	Ratio
1	5 - Relinga	0.308	0.000	cuerda_maqueta	1,2,3,4,5,6,7,8	0.00
2	5 - Relinga	0.308	0.000	cuerda_maqueta	9,10,11,12,13,14,15,16	0.00
3	5 - Relinga	0.308	0.000	cuerda_maqueta	17,18,19,20,21,22,23,24	0.00
4	5 - Relinga	0.308	0.000	cuerda_maqueta	25,26,27,28,29,30,31,32	0.00
5	6 - Viento	0.199	0.000	cuerda_maqueta	514	0.00
6	6 - Viento	0.199	0.000	cuerda_maqueta	516	0.00

Una vez creado este nuevo cable, éste debe ser asignado a las barras que actúan como cable tensor, así como también a los bordes de la membrana.

C:\Users\Usuario\AppData\Roaming\WinTess3\membranes.txt			
Salir	Guardar	Imprimir	
daN/5cm	kg/m²	S (T/m)	Mem/Name (UTF8)
250/250	0.690	30/30	Ferrari-Fluotop-T2-502
300/280	0.750	40/40	Ferrari-Fluotop-T2-702
420/400	1.050	50/50	Ferrari-Fluotop-T2-1002
560/560	1.250	65/65	Ferrari-Fluotop-T2-1202
800/700	1.350	80/80	Ferrari-Fluotop-T2-1302
1000/800	1.500	90/90	Ferrari-Fluotop-T2-1502
15	0.300	16	ETFE-200
5	0.2	0.05	Lycra

Creamos como en los pasos anteriores un nuevo material que actuará como membrana. Ésta será del material Lycra, que es lo más parecido a una membrana textil real a escala del modelo utilizado.

Cargas superficiales

Viento

☒ Velocidad real Viento X (km/h) 0 W = 7.7 kg/m² ☐ Cp manual

☐ Velocidad básica Viento Y (km/h) 40 Tipo de edificio (Cp) Abierto (libre)

Viento (total) = 40.0 km/h = 11.1 m/s

Cp = Coeficientes eólicos (-)presión (+)succión (Ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del viento)

180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4

Nieve (kg/m²) 0 Presión interna (kg/m²) 0 Pretensado de la membrana (%) 0/0

Cancelar Ok

Ahora ya con los materiales y parámetros modificados es posible cambiar la velocidad del viento con la cuál estamos trabajando. En este caso, el ventilador produce en promedio viento de 40km/hr. Especificamos también el tipo de estructura si ésta es abierta o cerrada y la dirección en X o Y.

Cálculo de la estructura

Fuerzas desequilibradas

DpMax (kg) 0

DpTotal (kg) 0

Nudos 81 Eje Z

DfMax (mm) 0.0253

DefMax (mm) 2.53e-2

Precisión (kg) 0.01

Num. max. iter 100000

Matrix

Información de la matriz de rigidez:

Numinc = 429

lamb = 53

NumTerm = 22.737

Size = 181.896 bytes

Guardar Matriz

Strain

☐ Small

☐ Green

☒ Almansi

Metodo de cálculo

☒ Matricial ☐ Punto a punto

☐ Relajación dinámica

☐ Relajación geométrica

Proceso iterativo

Número de iteraciones 164

Tiempo 1 m 41 s

☒ Actualiza gráficos

☐ Actualiza cargas superficiales

Viento Y = 40

Membrana

☒ Barras

☐ Elementos finitos

Empieza Continúa Stop

WinTess3

¡La estructura está en equilibrio!

Aceptar

El modelo ya está listo para ser calculado.

16

Índice de figuras

- Figura 1 Exposición Universal Zaragoza 2008, obtenido de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Exposici%C3%B3n_Internacional_de_Zaragoza_\(2008\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Exposici%C3%B3n_Internacional_de_Zaragoza_(2008))
- Figura 2 Fotografía de pabellon de Exposición Zaragoza 2008, imagen por Alberto Meneses.
- Figura 3 Fotografía de puente tensairity, tomada por Christian Gonzalez. Obtenida de: <http://blogs.publico.es/eureka/2014/05/04/air-bridge-el-puente-mas-ligero-del-mundo/>
- Figura 4 Diagramas de diferentes tipos de superficies anticlasticas, El textil como material de arquitectura, Sebastian Irrazabal.
- Figura 5 Tabla de variación máxima de una membrana debido al viento. Fuente: . Bridgens &M. Birchall. (no disponible). Form & function: the significance of material properties in the design of tensile fabric structures.
- Figura 6 Diagramas de forma anticlastica y sinclástica obtenido de: Soft shells, Design and technology of tensile architecture.
- Figura 6.1 Diagrama de forma anticlástica, obtenida de: Soft shells, Design and technology of tensile architecture
- Figura 7 Diagrama de cubierta abierta. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 8 Estrucutra tensada de Palacio de Maspalomas, Gran Canaria.
- Figura 9 Diagrama de cubierta abierta interior . Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 10 Fotografía de estructura tensada interior. Centro comercial, obtenido de: <http://www.sunscreens-mermet.es/>
- Figura 11 Diagrama de cubierta adosada. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 12 Fotografía cubierta Schlumberger, Paris. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 68
- Figura 13 Diagrama de cubierta cerrada. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 14 Fotografía de La Zenith, Paris. Obtenido de: <http://siesdestino.com/2011/05/29/paris-2011-mision-sm-town/>
- Figura 15 Diagrama de cubierta interior cerrada. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 16 Fotografía de estructura hinchable interior "Exxopolis". Obtenido de: http://elviajero.elpais.com/elviajero/2014/01/09/actualidad/1389278411_211056.html
- Figura 17 Diagrama de cubierta adosada cerrada. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 18 Fotografía de cubierta adosada a entrada de plaza comercial. Obtenida de: <http://www.tpconstrucciontextil.com/>
- Figura 19 Diagrama de estructura tensada adosada, obtenida de: Soft shells, Design and technology of tensile architecture
- Figura 20 Diagrama de cubierta móvil. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 21 Fotografía de cubierta móvil del pabellon de Venezuela, Hanover Alemania. Obtenida de: <https://www.venezolanos24.com/tag/flor-de-hannover/>
- Figura 22 Diagrama de cubierta interior móvil. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 23 Fotografía de cubierta retráctil, obtenida de: <http://www.tpconstrucciontextil.com/>
- Figura 24 Diagrama de cubierta adosada móvil. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 64
- Figura 25 Fotografía de cubierta adosada
- Figura 26 Diagrama de características de cerramientos, Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 90
- Figura 27 Diagrama de estrategias de ventilacion durante el verano y durante el invierno. Arquitectura Textil, Forster, 2004. pg. 97
- Figura 28 Diagrama de ejemplo de ventilacion en el interior de una estructura tensada, obtenida de: Soft shells, Design and technology of tensile architecture
- Figura 29 Fotografía aérea de colapso de instalaciones de practica interior de football del equipo Dallas Cowboys.

- Figura 30 Fotografía aérea de colapso de instalaciones de practica interior de football del equipo Dallas Cowboys, obtenida de: <http://www.nbcdfw.com/blogs/blue-star/Cowboys-Spokeswoman-Sues-Over-Injury-from-Bubble-Collapse-121273294.html>
- Figura 31 Fotografía de colapso de estructura de instalaciones de practica interior de football obtenida de: <http://www.nbcdfw.com/blogs/blue-star/Cowboys-Spokeswoman-Sues-Over-Injury-from-Bubble-Collapse-121273294.html>
- Figura 32 Digrama de patronaje de membrana de estadio Dallas Cowboys, obtenida de: <https://failures.wikispaces.com/Dallas+Cowboy+Indoor+Practice+Facility+Collapse>
- Figura 33 Diagrama de simulación del colapso del estadio Dallas Cowboys, obtenida de: <https://failures.wikispaces.com/Dallas+Cowboy+Indoor+Practice+Facility+Collapse>
- Figura 34 Fotografía de colapso de estructura en Indiana, fotografía obtenida de: <http://www.indystar.com/story/news/politics/2016/01/29/indiana-wins-state-fair-stage-collapse-case/79514600/>
- Figura 35 Fotografía de colapso de estructura en Indiana, fotografía obtenida de: <http://www.indystar.com/story/news/politics/2016/01/29/indiana-wins-state-fair-stage-collapse-case/79514600/>
- Figura 36 Fotografía de colapso de estructura en Indiana, fotografía obtenida de Policía Municipal de Indiana
- Figura 37 Diagrama de fallo de pletina metálica obtenida de: <https://failures.wikispaces.com/Temporary+Structure+Failure+++Case+Studies>
- Figura 38 Diagrama de fallo de pletina metálica obtenida de: <https://failures.wikispaces.com/Temporary+Structure+Failure+++Case+Studies>
- Figura 39 Fotografía de fallo de estructura en estadio Sultan Mizan Zainal Abidin, obtenida de: <https://ktsadium.wordpress.com/2009/08/14/8/#comments>
- Figura 40 Fotografía de fallo de estructura en estadio Sultan Mizan Zainal Abidin, obtenida de: <https://ktsadium.wordpress.com/2009/08/14/8/#comments>
- Figura 41 Fotografía de fallo de estructura en estadio Sultan Mizan Zainal Abidin, obtenida de: <https://ktsadium.wordpress.com/2009/08/14/8/#comments>
- Figura 42 Fotografía de colapso de estructura, obtenido de: <http://www.primerengineering.com/projects>
- Figura 43 Fotografía de colapso de estructura, obtenido de: <http://www.primerengineering.com/projects>
- Figura 44 Fotografía de colapso de invernadero obtenida de: <http://articles.extension.org/pages/18358/introduction-to-high-tunnels>
- Figura 45 Fotografía de colapso de invernadero obtenida de: <http://articles.extension.org/pages/18358/introduction-to-high-tunnels>
- Figura 46 Fotografía de rotura de membrana en iglesia, obtenida de: <http://www.cbnews/canada/hamilton/news/winds-rip-large-section-of-roof-off-hamilton-mountain-church-1.3365539>
- Figura 47 Gráficos de estudio de CFD sobre estructura tensada de cono y hyper, obtenida de: Trevor Scott. (Sin año de publicación). Optimizing Tensile Membrane Design utilizing CFD. 6 de junio de 2016, de Light Weight Structures Advisory Service Sitio web: PDF
- Figura 48 Gráficos de estudio de CFD sobre estructura tensada de cono, obtenida de: Trevor Scott. (Sin año de publicación). Optimizing Tensile Membrane Design utilizing CFD. 6 de junio de 2016, de Light Weight Structures Advisory Service Sitio web: PDF
- Figura 49 Fotografía de túnel de viento abierto, obtenida de : Inga. Marta S. Parmigiani. (Julio 2015). Reglamento CIRSOC 102 Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios

- Secretaría de Obras Públicas de la Nación. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, nd, 66. 7 de Junio de 2016, De CIRSOC PDF
- Figura 50 Diagrama de túnel de viento abierto, obtenido de: Isabel Gomez Fuster. (2013). Plataforma para la medición de fuerzas y momentos aerodinámicos. 15 de Mayo de 016, de Universidad de Sevilla Sitio web: http://bibing.us.es/proyectos/buscar/tunel+aerodinamico/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2016///1
- Figura 51 Fotografía de túnel de viento cerrado
- Figura 52 Diagrama de túnel de viento cerrado, obtenido de: Isabel Gomez Fuster. (2013). Plataforma para la medición de fuerzas y momentos aerodinámicos. 15 de Mayo de 016, de Universidad de Sevilla Sitio web: http://bibing.us.es/proyectos/buscar/tunel+aerodinamico/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2016///1
- Figura 53 Fotografía de ventilador y túnel de viento, Diseño y construcción Ramón Sastre, fotografía: Diana Hernández
- Figura 54 Fotografía de ejemplo de máquina de humo obtenida de: <http://www.madridhif.com/>
- Figura 55 Fotografía de bote de humo utilizado para pruebas, fotografía por Diana Hernández
- Figura 56 Designer's Guide to EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design, Table 4.1 Classification of actions, Capítulo 4, Página 43
- Figura 57 Eurcódigo, Sección 7.2.7 Multispan Roofs. Página 51
- Figura 58 Eurcódigo, Sección 7.2.8 Vaulted Roofs and domes. Pagina 52
- Figura 59 Expresión para el cálculo de combinación de acciones. CTE DB-SE. Capítulo 4.2.2 Combinación de acciones., página 15.
- Figura 60 Tabla de coeficientes de simultaneidad. CTE DB-SE. Tabla 4.2, página 17.
- Figura 61 Tabla de coeficientes de simultaneidad. CTE DB-SE. Tabla 4.2, página 17.
- Figura 62 Tabla de cargas debidas a la acción del viento, UNE EN 13782, página 13.
- Figura 63 Diagrama de presiones, UNE EN 13782 página 15.
- Figura 64 Coeficientes de viento, UNE EN 13782, página 15.
- Figura 65 Coeficientes de viento, UNE EN 13782, página 15.
- Figura 66 Tabla de coeficientes de seguridad frente al vuelco deslizamiento y levantamiento, UNE EN 13782, página 18
- Figura 67 Fotografía de extremo de mástil de maqueta mostrando el clavo para el empotramiento de este a la base, Autoria, Diana Hernandez.
- Figura 68 Fotografía de argolla metálica con tornillo para sujeción de maqueta, fuente: Google
- Figura 69 Fotografía de argolla metálica para llavero, fuente: Google
- Figura 70 Fotografía de cordel de fibra natural, fuente: Google.
- Figura 71 Fotografía de maqueta, Autor: Diana Hernández
- Figura 72 Fotografía de maqueta, Autor: Diana Hernández
- Figura 73 Fotografía de maqueta, Autor: Diana Hernández
- Figura 74 Fotografía de maqueta, Autor: Diana Hernandez
- Figura 75 Fotografía de posicionamiento de sensores en maqueta, Autor: Diana Hernández
- Figura 76 Diagrama de puente utilizado para instalación de galgas, obtenido de: Data Sheets RS Strain gauges and load cells, Marzo 2002, 1502325957
- Figura 77 Diagrama de figura de circuito, obtenido de: Hoja de instrucciones RS, publicado Junio 2003, 1200001386/V7412
- Figura 78 Fotografía de circuito de amplificador de galgas. Diseño y construcción por Felipe Andres Montaño. Fotografía por Diana Carolina Hernández
- Figura 79 Fotografía de entrada de cables de puente de Wheatstone a circuito. Diseño y construcción por Felipe Andres Montaño. Fotografía por Diana Carolina Hernández

- Figura 80 Fotografía de cables de salida a conexión con circuito Arduino. Diseño y construcción por Felipe Andres Montaño. Fotografía por Diana Carolina Hernández
- Figura 81 Fotografía de circuito Arduino, Diseño y construcción por Felipe Andres Montaño, fotografía por Diana Carolina Hernández
- Figura 82 Diagrama de funcionamiento de circuitos, Diseñado por Abelardo Hernandez Rubio
- Figura 83 Tabla de comparativa de tipos de galgas extensiométricas obtenida de: Garcia Casado, FJ. (2010) ,Video Galgas Extensiométricas: Funcionamiento y Circuitos de Medida, Universidad Politécnica de Valencia.
- Figura 84 Gráfico de funcionamiento de galga, obtenida de: Garcia Casado, FJ. (2010) ,Video Galgas Extensiométricas: Funcionamiento y Circuitos de Medida, Universidad Politécnica de Valencia.
- Figura 85 Tabla de datos característicos de galga extensiométrica elegida para el estudio, obtenido de: Omega Engineering Limited, hoja de descripción de compra.
- Figura 86 Gráfico de amplificador de sonido, obtenido de: Hoja de proveedor ST, numero BC 107 ,BC 107 B
- Figura 87 Gráfico de transistor utilizado en proyecto
- Figura 88 Gráfico de amplificador operacional, obtenido de: <http://www.datasheetcatalog.com/>
- Figura 89 Gráfico de semiconductor utilizado en proyecto, obtenido de: Hoja de datos técnicos de PHILIPS, 1992 Marzo 20.
- Figura 90 Tabla comparativa de características electrónicas de semiconductores utilizados, obtenido de: Hoja de datos técnicos de PHILIPS, 1992 Marzo 20.
- Figura 91 Fotografía de las tres muestras de caucho realizadas para experimento. Autor: Diana Hernández
- Figura 92 Fotografía de muestra #1 de grosor de 2 mm. Autor: Diana Hernández
- Figura 93 Fotografía de muestra #2 de grosor de 3 mm. Autor: Diana Hernández
- Figura 94 Fotografía de muestra #3 de grosor de 4 mm. Autor: Diana Hernández
- Figura 95 Fotografía de diseño de muestras con galgas extensiométricas. Autor y fotografía Diana Carolina Hernández.
- Figura 96 Fotografía de montaje especial para realización de pruebas de calibración. Autor: Diana Hernández.
- Figura 97 Fotografía de metodología de calibración, funcionamiento, Autor: Diana Hernández
- Figura 98 Fotografía de instalación de muestra con 1000 gramos. Autor: Diana Hernández
- Figura 99 Fotografía de instalación de muestra con 750 gramos. Autor: Diana Hernández
- Figura 100 Fotografía de instalación de muestra con 500 gramos. Autor: Diana Hernández
- Figura 101 Fotografía de instalación de muestra con 250 gramos. Autor: Diana Hernández
- Figura 102 Fotografía de instalación de muestra en reposo. Autor: Diana Hernández
- Figura 103 Fotografía de preparación de túnel de viento y el hardware para realización de pruebas
- Figura 104 Diagrama de explicación de colocación de maqueta a 0° dentro del túnel de viento, Diseño: Diana Hernández
- Figura 105 Diagrama de explicación de colocación de maqueta a 90° dentro del túnel de viento, Diseño: Diana Hernández
- Figura 106 Diagrama de explicación de colocación de maqueta a 180° dentro del túnel de viento, Diseño: Diana Hernández
- Figura 107 Tabla de explicación de calibración de muestra #2 Autor: Diana Hernández
- Figura 108 Tabla de resultados de prueba 1. Autor: Diana Hernández
- Figura 109 Gráfica explicación de resultados de prueba 1, Autor: Diana Hernández

- Figura 110 Gráfico explicativo de prueba con sensor a 0°, Autor: Diana Hernández
- Figura 111 Gráfico explicativo de prueba con sensor 180°, Autor: Diana Hernández
- Figura 112 Gráfico explicativo de prueba con sensor 90°, Autor: Diana Hernández
- Figura 113 Tabla de explicación de calibración de muestra #1 Autor: Diana Hernández
- Figura 114 Tabla de resultados de prueba 2 de sensor #1 Autor: Diana Hernández
- Figura 115 Gráfica explicación de resultados de prueba 2 de sensor #1, Autor: Diana Hernández
- Figura 116 Tabla de explicación de calibración de muestra #3 Autor: Diana Hernández
- Figuras 117 Tabla de resultados de prueba 2 de sensor #3 Autor: Diana Hernández
- Figuras 118 Gráfica explicación de resultados de prueba 2 de sensor #3, Autor: Diana Hernández
- Figura 119 Fotografía explicativa de prueba con sensor 1 donde se puede apreciar la dispersión del humo. Autor, Diana Hernandez
- Figura 120 Fotografía de flujo de aire y humo durante prueba de túnel de viento. Autor: Diana Hernández
- Figura 121 Fotografía de maqueta para pruebas de túnel de viento, sensor colocado en sujeción
- Figura 122 Fotografía de colocación de sensor en maqueta. Autor : Diana Hernández
- Figura 123 Fotografía de nueva lycra utilizada para pruebas. Autor: Diana Hernández
- Figura 124 Tabla de resultados de calibración de sensor #1, Autor Diana Hernández
- Figura 125 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensor #1 colocado en cable tensionado, Autor: Diana Hernandez
- Figura 126 Gráfica de resultados reales de pruebas de viento con sensor #1 colocado en cable tensionado. Autor, Diana Hernandez
- Figura 127 Tabla de resultados de calibración de sensor #2, Autor Diana Hernández
- Figura 128 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensor #2 colocado en cable tensionado, Autor: Diana Hernandez
- Figura 129 Gráfica de resultados reales de pruebas de viento con sensor #2 colocado en cable tensionado. Autor, Diana Hernandez
- Figura 130 Tabla de resultados de calibración de sensor #3, Autor Diana Hernández
- Figura 131 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensor #3 colocado en cable tensionado, Autor: Diana Hernandez
- Figura 132 Gráfica de resultados reales de pruebas de viento con sensor #3 colocado en cable tensionado. Autor, Diana Hernandez
- Figura 133 Diagrama explicativo del flujo del viento y deformación de la membrana, Autor: Diana Hernández
- Figura 134 Diagrama explicativo del flujo del viento y deformación de la membrana, Autor: Diana Hernández
- Figura 135 Serie de fotografías durante las pruebas de túnel de viento posición 0°, Autor: Diana Hernández.
- Figura 136 Serie de capturas de pantalla de modelo de Wintess bajo la acción de viento en posición 0°. Autor Diana Hernández.
- Figura 137 Serie de fotografías durante las pruebas de túnel de viento posición 90°, Autor: Diana Hernández.
- Figura 138 Serie de capturas de pantalla de modelo de Wintess bajo la acción de viento en posición 90°. Autor Diana Hernández.
- Figura 139 Serie de fotografías durante las pruebas de túnel de viento posición 180°, Autor: Diana Hernández.
- Figura 140 Serie de capturas de pantalla de modelo de Wintess bajo la acción de viento en

posición 180°. Autor Diana Hernández.

Figura 141 Gráfica de resultaddos reales de pruebas de viento con sensor colocado en cable tensionado. Autor, Diana Hernandez

Figura 142 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensor colocado en cable tensionado, Autor: Diana Hernandez

Figura 143 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensor colocado en cable tensionado, Autor: Diana Hernandez

Figura 144 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensor colocado en cable tensionado, Autor: Diana Hernandez

Figura 145 Gráfico de resultados de pruebas de viento con sensores en sujeción a base Autor: Diana Hernandez

Figura 146 Gráfico explicativo de comportamiento de sensores en ángulo 180° Autor, Diana H.

Figura 147 Gráfico explicativo de comportamiento de sensores en ángulo 180° Autor, Diana H.

Figura 148 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensores en sujeción a base Autor: Diana Hernandez

Figura 149 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensores en sujeción a base Autor: Diana Hernandez

Figura 150 Tabla de resultados de pruebas de viento con sensores en sujeción a base Autor: Diana Hernandez

Figura 151 Captura de pantalla de estructura en equilibrio en Wintess

Figura 152 Señalización de cable a analizar en Wintess.

17

Referencias bibliográficas

American Society of Civil Engineers. (1987). Wind tunnel model studies of buildings and structures. Nueva York, EUA: ASCE

Andrew Aumiller. (2 de Junio 2009). Sultan Mizan Zainal Abidin Stadium Roof Collapse. 24 de Abril de 2016, de Wiki installments Sitio web: <https://failures.wikispaces.com/Sultan+Mizan+Zainal+Abidin+Stadium+Roof+Collapse>

An Nisa . (2013). The collapse stadium roof. 24 de Abril de 2016, de Wordpress Sitio web: <https://ktsadium.wordpress.com/>

Brian Forster, MArijke Mollaert . (2004). Arquitectura Textil. Madrid, España: Munilla-Laeria.

B. Bridgens &M. Birchall. (no disponible). Form & function: the significance of material properties in the design of tensile fabric structures. School of Civil Engineering and Geosciences, Drummond Building, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK., no disponible, 26. 4 de Junio de 2016, De University of Newcastle Base de datos.

Colliers Jimmy Silvia, 2013-2014, Wind loading on tensile surface structures, Master Thesis, Universidad de Bruselas, Facultad de Ingenieria.

EN 1991-1-4 (2005) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]

H. Gulvanessian, Jean-Armand Calgaro, Milan Holický , Designer's Guide to EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design, Thomas Telford, 2002 - 192 páginas

Hernández Barrios Hugo¹ , Valdés Vázquez Gerardo² . y Hernández Martínez Alejandro. (2010). PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DE DISEÑO EÓLICO DE TENSO ESTRUCTURAS . 6 de Junio de 2016, de Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural Sitio web: http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_16/te_10/ar_05.pdf

<https://sistemasestructurales.files.wordpress.com/2012/06/paraboloide-hiperbc3b3lico2.pdf>

I Gede Adi Susila. (Enero 2009). WIND LOAD PREDICTING; HOW COULD CFD REPLACED WIND TUNNEL TEST. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 13, No. 1, 15. 4 de Junio de 2016 , De Lecturer of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Udayana University, Denpasar Base de datos.

Inga. Marta S. Parmigiani. (Julio 2015). Reglamento CIRSOC 102 Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios Secretaría de Obras Públicas de la Nación. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, nd, 66. 7 de Junio de 2016, De CIRSOC PDF

Irrazabal, Sebastian. "El textil como material de arquitectura", Tesis para obtención de título de arquitecto, Obtenido de: <http://es.slideshare.net/ArquitecturaCaliente/402-burdilesruc>

Isabel Gomez Fuster. (2013). Plataforma para la medición de fuerzas y momentos aerodinámicos. 15 de Mayo de 2016, de Universidad de Sevilla Sitio web: http://bibing.us.es/proyectos/buscar/tunel+aerodinamico/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2016///1

Javier Tejera. (2002). Construir con membranas. Tectónica, 36, 4-19.

Kelly Bennett . (15 Diciembre 2015). Winds rip large section of roof off Hamilton Mountain church. 24 de Abril de 2016, de CBC Hamilton Sitio web: <http://www.cbc.ca/news/canada/hamilton/news/winds-rip-large-section-of-roof-off-hamilton-mountain-church-1.3365539>

Kristin Pool y Alex Stone . (2016). Introduction to high tunnels . 27 de Abril de 2016 , de Extension Sitio web: <http://articles.extension.org/pages/18358/introduction-to-high-tunnels>

P. Beccarelli, 2015, Biaxial Testing for Fabrics and Foils, PoliMI SpringerBriefs, DOI 10.1007/978-3-319-02228-4_2

Proceso orientativo con el Ingeniero Andres Felipe Montaña,diseñador y fabricante de hardware y software, su participación fue de gran importancia para el comprendimiento, funcionamiento y arreglo del hardware y software que se utilizó para la realización de este trabajo.

Proyecto final de master,(2009) Modesto Maria Cristina, Evaluacion de los modelos en altura despues del periodo iconico, Universidad Politecnica de Cataluña.

R. Stouffs, P. H. T. Janssen, S. Roudavski, B. Tunçer (eds.), Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference of the Association of Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2013, 000–000. © 2013, The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong

Soluciones y proyectos, knowledge from simulation, <http://www.simulacionesyproyectos.com/consultoria/arquitectura/ventilacion-natural/>

Stremsky Michael, (2009). Dallas Cowboys Indoor Practice Facility Collapse (May 2, 2009), Obtenido de: <https://failures.wikispaces.com/Dallas+Cowboy+Indoor+Practice+Facility+Collapse>

Thomas J. Kleinosky. (2012). Temporary Structure Failures. 21 de Abril de 2016, de Wiki installments Sitio web: <https://failures.wikispaces.com/Temporary+Structure+Failure+-+Case+Studies>

Trevor Scott. (Sin año de publicación). Optimizing Tensile Membrane Design utilizing CFD. 6 de Junio de 2016, de Light Weight Structures Advisory Service Sitio web: PDF: